

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|--|
| Частотно-регулируемый электропривод лифта |

УДК 62-83-523:621.876.11

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---------|-------------------------|---------|------|
| 3-5Г4Б2 | Сон Виктор Владимирович | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Гусев Н.В. | к.т.н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Мелик-Гайказян М.В. | к.э.н., доцент | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|-------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Гуляев М.В. | | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------------------|-----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Ивашутенко А.С. | к.т.н. | | |

Планируемые результаты обучения по ООП

| Код результата | Результат обучения |
|----------------|--|
| Р 1 | Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i> . |
| Р 2 | Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов. |
| Р 3 | Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> . |
| Р 4 | Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы. |
| Р 5 | Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> . |
| Р 6 | Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях. |
| Р 7 | Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> |
| Р 8 | Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i> . |
| Р 9 | Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> . |
| Р 10 | Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности. |
| Р 11 | Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности. |
| Р 12 | Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> . |

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

_____ А.С. Ивашутенко

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

| |
|---------------------|
| Бакалаврской работы |
|---------------------|

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа | ФИО |
|---------|---------------------------|
| 3-5Г4Б2 | Сон Виктору Владимировичу |

Тема работы:

| Частотно-регулируемый электропривод лифта | |
|---|-------------------------|
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | № 3483/с от 06.05.2019г |

| | |
|--|--------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 30.05.2019г. |
|--|--------------|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|--|
| Исходные данные к работе | Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации на лифт |
| Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов | Подробное изучение технологического процесса, выбор двигателя по кинематической схеме лифта, исследование динамической модели АД во вращающейся системе координат, оптимизация контуров регулирования, исследование электропривода лифта на модели нелинейного |

| | |
|---|--|
| | асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат. |
| Перечень графического материала | Кинематическая схема Функциональная схема частотно-регулируемого ЭП Структурная схема динамической модели АД во вращающейся системе координат Структурная схема нелинейного ЭП с векторным управлением Переходные процессы нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы | |
| Раздел | Консультант |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Мелик-Гайказян Мария Вигеновна |
| Социальная ответственность | Гуляев Милий Всеволодович |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: | |
| Заключение | |

| | |
|---|--------------|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | 05.04.2018г. |
|---|--------------|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------|------------------------|---------|--------------|
| Доцент | Гусев Н.В. | к.т.н. | | 05.04.2018г. |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---------|-------------------------|---------|--------------|
| 3-5ГЗА1 | Сон Виктор Владимирович | | 05.04.2018г. |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

| |
|---------------------|
| Бакалаврская работа |
|---------------------|

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

| | |
|--|--------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 30.05.2019г. |
|--|--------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 23.05.2019 | Основная часть | 60 |
| 15.05.2019 | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 20 |
| 17.05.2019 | Социальная ответственность | 20 |

СОСТАВИЛ:

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Гусев Н.В. | К.Т.Н. | | |

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Ивашутенко А.С. | К.Т.Н. | | |

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из шести глав. Общий объем работы 138 с., включая 56 рисунка, 36 таблиц, 21 источников, 1 приложение.

Возрастающий парк подъемных механизмов требует совершенствования средств внутреннего транспорта зданий на основе современных научно-технических достижений.

В настоящее время в нашей стране стоит проблема замены устаревшего лифтового оборудования с релейно-контакторной системой управления на более надежную, безопасную и простой в обслуживании систему управления лифта.

Большинство электроприводов лифта представляют собой конструкцию, состоящую из асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, редуктора, тормозного устройства и релейно-контакторной схемы управления.

Благодаря развитию микропроцессорной техники и систем частотно-регулируемого электропривода переменного тока, одним из вариантов решения проблемы является применение системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель. Регулирование скорости двигателей переменного тока изменением частоты подводимого к статору напряжения по существу весьма экономично и может обеспечить плавное регулирование в широких пределах. Для обеспечения этого способа регулирования скорости необходимо преобразовательное устройство, позволяющее плавно регулировать частоту и по соответствующему закону изменять при этом напряжение переменного тока.

Целью работы является разработка регулируемого электропривода лифта.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word, также для расчетов использовалась программа MathCad 14, среда Simulink пакета MATLAB. Для обработки графиков использовалась программа Microsoft Visio.

Содержание

| | | |
|--|---|----|
| 1. | Общие вопросы проектирования | 9 |
| 1.1 | История развития лифтового электропривода | 9 |
| 1.2 | Классификация электроприводов лифта | 12 |
| 1.3 | Требования к электроприводу лифта | 13 |
| 2. | Разработка электропривода лифта | 15 |
| 2.1 | Выбор электродвигателя лифта | 15 |
| 2.2 | Выбор преобразователя частоты | 19 |
| 2.3 | Выбор автоматического выключателя и пускателя | 23 |
| 2.4 | Выбор датчиков | 26 |
| 2.5 | Выбор станции управления лифтом | 27 |
| 3. | Разработка функциональной схемы системы электропривода | 31 |
| 4. | Математическое описание электропривода лифта | 33 |
| 4.1 | Расчет параметров схемы замещения электродвигателя | 33 |
| 4.2 | Расчет статических характеристик при частотном управлении | 35 |
| 4.3 | Динамическая модель АД во вращающейся системе координат для расчета переходных процессов | 38 |
| 4.4 | Расчет параметров преобразователя | 44 |
| 4.5 | Структурная схема линеаризованной САУ | 44 |
| 4.6 | Оптимизация контуров регулирования САУ электропривода | 47 |
| 4.6.1 | Оптимизация контура тока | 47 |
| 4.6.2 | Оптимизация контура потокосцепления | 49 |
| 4.6.3 | Оптимизация контура скорости | 53 |
| 4.6.4 | Отработка контуром скорости возмущающих воздействий | 56 |
| 4.7 | Имитационное исследование САУ регулируемого электропривода с точной моделью двигателя | 58 |
| 4.8 | Математическое описание механической части лифта | 65 |
| 4.9 | Исследование электропривода лифта | 70 |
| ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ» | | 75 |
| 5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ | | 76 |
| 5.1 | SWOT-анализ частотно – регулируемого электропривода лифта | 76 |

| | |
|--|-----|
| 5.2 Организация работ технического проекта..... | 80 |
| 5.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования..... | 80 |
| 5.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП | 82 |
| 5.2.3 Разработка графика проведения технического проекта..... | 83 |
| 5.3 Расчёт затрат на осуществление технического проекта | 86 |
| 5.3.1 Расчет материальных затрат технического проекта..... | 86 |
| 5.3.2 Полная заработная плата исполнителей темы | 87 |
| 5.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)..... | 88 |
| 5.3.4 Накладные расходы..... | 89 |
| 5.3.5 Формирование сметы затрат технического проекта | 89 |
| 5.3.6 Определение ресурсоэффективности проекта | 90 |
| ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»..... | 93 |
| -Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)..... | 93 |
| 6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ | 94 |
| 6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. | 94 |
| 6.2 Производственная безопасность..... | 96 |
| 6.2.1 Анализ потенциально возможных опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований..... | 97 |
| 6.2.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды | 101 |
| 6.3 Экологическая безопасность..... | 103 |
| 6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях..... | 104 |
| 6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС..... | 104 |
| 6.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС..... | 105 |
| Заключение | 108 |
| Приложение А | 115 |

1. Общие вопросы проектирования

1.1 История развития лифтового электропривода

Современные многоэтажные здания для облегчения и ускорения перемещения людей и грузов на различные уровни по высоте оборудуют средствами вертикального транспорта. Их основное преимущество - небольшая площадь, занимаемая его оборудованием в здании. Из всех видов подъёмников, применяемых в жилых, административных и производственных зданиях, наиболее распространены лифты. Лифтом называют стационарный подъёмник прерывистого действия с вертикальным движением кабины или платформы по жёстким направляющим в ограждённой со всех сторон шахте.

По мере увеличения этажности зданий возрастают и требования к качеству изготовления, монтажа и к их эксплуатации, которые приобретают решающее значение для нормального функционирования зданий.

Лифты подают уголь в бункеры котельных, чугуны к вагонеткам литейных цехов, перевозят рулоны бумаги в типографиях, продукты, товары, поднимают автомобили в многоэтажных гаражах, перевозят пассажиров и грузы на судах речного и морского флота, поднимают туристов на вышки. Широко применяются лифты и в современных лайнерах. Только в Москве лифты перевозят за сутки более 20 миллионов человек, что превышает количество людей, перевозимых всеми видами городского транспорта вместе взятыми. Дальнейшее развитие лифтостроения позволит ещё шире применять лифты в различных областях народного хозяйства.

Первые упоминания о лифте имеются в трудах римского архитектора Ветрувия, который сообщает о том, что Архимед построил подъёмный аппарат, вероятно, ещё в 236 году до нашей эры. В литературных источниках более позднего периода упоминается о подъёмных устройствах с кабиной,

подвешенной на пеньковом канате и приводимой в движение вручную или с использованием силы животных.

В 18 веке пассажирские лифты начали применяться в России (лифты дворцовых построек Царского Села , подмосковной усадьбы Кусково, подъёмные стол и кресло в Петродворцовском Эрмитаже).

В 1795 году И.П. Кулибин разработал конструкцию винтового пассажирского лифта (подъёмных и спускных кресел) для Зимнего Дворца.

В 1816 году лифт был установлен в главном доме подмосковной усадьбы Архангельское

В середине 19 века лифты появились в США (лифт Г. Устермана).

В 1853 году в США появились лифты Э. Отиса с ловителями. Первое «ловящее» устройство срабатывало только при свободном падении, то есть обрыве канатов. Это устройство, применяемое во всех современных лифтах в более совершенном виде, существенно снизило опасения за падение кабины с людьми даже при обрыве канатов, что способствовало более широкому распространению лифтов. В этот период лифты, как правило, приводились в движение паровой машиной, а подъёмные канаты наматывались и сматывались с барабана.

В 1867 году появились гидравлические лифты, которые имели ряд преимуществ по сравнению с канатными. На этих лифтах удалось достичь высокой скорости движения кабины до 3,5 м/с, но из-за значительной первоначальной стоимости и эксплуатационных расходов пришлось отказаться от них.

В 1878 году был изобретён ограничитель скорости, позволяющий включать ловители при превышении номинальной скорости.

В 1880 году в Германии появился первый электрический лифт Сименса с реечным механизмом подъема. К началу 20 века электрические лифты получили широкое распространение постепенно вытесняя лифты с другими типами приводов.

К концу 19 столетия были созданы лифтовые лебедки с канатоведущим шкивом (КВШ), в которых подъемное усилие создавалось за счет фрикционного взаимодействия тяговых канатов с ободом шкива (это были лебедки с двойным обхватом шкива). Это изобретение послужило хорошей основой дальнейшего совершенствования конструкции лифтов.

В 20-х годах 20 века появились лебедки с одинарным обхватом канатоведущего шкива, которые широко применяются и в наше время.

Применение КВШ позволило снять целый ряд актуальных проблем.

Появилась возможность подвески кабины на нескольких параллельных ветвях тяговых канатов, что существенно повысило безопасность транспортировки пассажиров.

Была исключена опасность затягивания кабины под перекрытие шахты, так как при посадке противовеса на буфер, натяжение канатов падало и скольжение канатов прекращало дальнейший подъем кабины.

Несомненным достоинством применения КВШ в лифтовых лебедках явилась независимость их параметров от высоты подъема кабины. Это открывало широкие перспективы организации массового серийного производства лифтов на основе принципов унификации и стандартизации узлов и деталей.[5]

В 1922 году в Чикаго был установлен первый безредукторный привод.

В нашей стране лифтостроение начало развиваться лишь после революции 1917 года, когда наряду с грузовыми и пассажирскими лифтами общего назначения стали изготавливаться лифты специальных типов. После Великой Отечественной войны, то есть в конце 40-х годов в нашей стране

было освоено серийное производство типовых конструкций лифтов общего назначения и скоростных.

С ростом больших городов, появлением многоэтажной застройки в последние десятилетия значительно возрос лифтовой парк страны.

С увеличением количества выпускаемых лифтов совершенствуется и их конструкция. В последние годы появились лифты, принцип действия которых основан на микросхемах и микроэлектронике. Не смотря на значительное многообразие типов и конструкций современных лифтов, все они состоят из основных элементов, имеющих принципиально одинаковое значение.

За последние 80 лет в области лифтостроения, мировые компании приобрели значительный опыт в данной сфере. Сегодня созданы лифтовые лебедки, способные перемещать со скоростью 1000 метров в минуту и больше.

На сегодняшний день мировыми лидерами в области лифтостроения занимаются компании OTIS, KONE, ABB.

1.2 Классификация электроприводов лифта

По типу привода подъемного механизма:

- Лифты электрические;
- Лифты гидравлические.

По виду транспортируемого груза:

- Пассажирские:
 - Для жилых зданий;
 - Общественных зданий;
 - Зданий промышленных предприятий;
 - Для малоэтажных жилых зданий;
 - Больничные лифты.

- Грузовые:
 - Обычные грузовые лифты (грузоподъемность до 5000 кг);
 - Грузовые малые лифты;
 - Тротуарные лифты;
 - Грузопассажирские лифты.

По скорости движения кабины:

- Лифты тихоходные (до 1 м/с);
- Лифты быстроходные (от 1 м/с до 2 м/с);
- Лифты высокоскоростные (от 2 м/с до 7 м/с).

По строению лебедки лифта:

- Лебедка электрического лифта с редуктором;
- Лебедка электрического лифта без редуктора.

По конструкции привода лифта:

- Лифты с лебедкой барабанного типа;
- Лифты с лебедкой с канатоведущим шкивом (КВШ).

По системам управления лифтом:

- Одиночное управление;
- Групповое управление группой лифтов.

1.3 Требования к электроприводу лифта

Основные требования на проектирование, изготовление и эксплуатацию лифтового оборудования отражены в ГОСТ «Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов» и Технических условиях на проектирование лифтов [2,8].

- Отклонение рабочей скорости движения кабины от номинальной должно быть не более $\pm 15\%$.
- Ограничитель скорости движения кабины должен срабатывать, если скорость движения кабины вниз превысит номинальную не менее чем на 15% и не более 40% - для лифтов с номинальной скоростью от 0,5 до 1,6 м/с включительно.

- Номинальный диаметр тяговых канатов должен быть не менее 8 мм – для лифтов, в которых допускается транспортировка людей.
- Номинальный диаметр каната, приводящего ограничитель скорости, должен быть не менее 6 мм.
- У лифтов, оборудованных лебедкой с канатоведущим шкивом, должна быть исключена возможность подъема противовеса при неподвижной кабине.
- Конструкция должна быть рассчитана на нагрузки, действующие в эксплуатационных, испытательных и аварийных режимах.
- Между канатоведущим органом лебедки и тормозом должны быть неразрываемая кинематическая связь.
- Тормозной момент должен создаваться при помощи пружин или груза.
- Эксплуатационные характеристики лифта в определяющей степени зависят от конструкции и параметров подъемного механизма.

Точность остановки кабины определяется величиной разности отметок пола кабины и пола этажной площадки. Порог, образующийся в результате неточности остановки, представляет опасность для пассажиров и затрудняет погрузочно-разгрузочные работы с применением напольного транспорта или монорельсовой системы разгрузки кабины.

Неточность остановки определяется зависимостью тормозного пути кабины от массы груза и направления движения в момент торможения.

При торможении поднимающейся кабины, остановка произойдет несколько ниже порога разгрузочной площадки, тогда как порожняя кабина пройдет больший путь и остановится выше этого уровня. При движении вниз будет наблюдаться обратная картина.

Согласно рекомендации «Правилам устройства и безопасной эксплуатации лифтов» точность остановки кабины для пассажирских лифтов составляет ± 20 мм [8].

Плавность движения кабины количественно определяется уровнем ускорения при разгоне и торможении подъемного механизма. По нормам «Правил устройства и безопасной эксплуатации лифтов» максимальная величина ускорения (замедления) кабины в нормальных эксплуатационных режимах пассажирских лифтов не должна превышать 2 м/с^2 , максимальная величина замедления кабины лифтов при остановке кнопкой «Стоп» должно быть не более 9.81 м/с^2 . При посадке кабины на ловители или буфер в аварийных ситуациях допускается ускорение до 25 м/с^2 [8].

Эффект физиологического воздействия ускорений существенно зависит от времени их действия. Так, при времени действия ускорений менее 0.04 с , человеческий организм удовлетворительно переносит ускорения около $30\text{-}40 \text{ м/с}^2$. Поэтому «Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов» допускают кратковременное превышение ускорения замедления кабины.

Комфортабельность условий перевозки пассажиров определяется минимальной величиной времени ожидания лифта на посадочной площадке, плавностью и точностью остановки, отсутствием шума и вибрации в кабине, наличием хорошей вентиляции салона и достаточной освещенностью.

Общедоступность пользования лифтом предполагает наличие простой и понятной системы управления движением из кабины и этажных площадок.

Бесшумность работы лифта обеспечивается рядом мер по снижению уровня шума и предотвращению его распространения по несущим конструкциям здания. С этой целью, лебедка лифта и другие узлы оборудования устанавливаются на амортизаторы и к их конструкции предъявляются повышенные требования относительно уровня шума и вибрации.

Снижение уровня электромагнитных помех может быть гарантировано хорошим качеством экранировки источников помех электрооборудования лифтовой лебедки и установкой высокочастотных фильтров электрической силовой цепи питания лифта.

2. Разработка электропривода лифта

2.1 Выбор электродвигателя лифта

Для выбора электродвигателя лифта произведем расчет на основании упрощенной кинематической схемы лифта, представленной на рисунке 1.

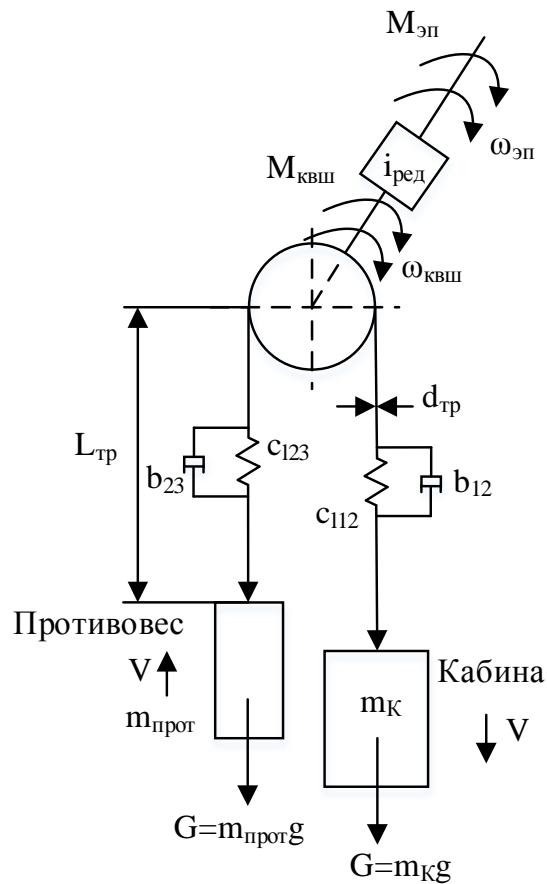


Рисунок 1 – Упрощенная кинематическая схема лифта

Параметры и характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 -Параметры и характеристики кинематической схемы лифта

| Обозначение | Величина | Описание параметра |
|--------------------|-------------------------------------|---|
| γ_c | $7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ | Плотность стали |
| J_{AD} | $0,021 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ | Момент инерции АД |
| $D_{квш}$ | 0,32 м | Диаметр канатоведущего шкива |
| $L_{квш}$ | 0,06 м | Толщина канатоведущего шкива |
| $D_{тд}$ | 0,35 м | Диаметр тормозного диска |
| $L_{тд}$ | 0,01 м | Толщина тормозного диска |
| L_2 | 0,8 м | Расстояние между канатоведущим шкивом и отводящей опорой |
| $E_{тр}$ | $1,25 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$ | Модуль продольной упругости для стальных тросов |
| $L_{тр}$ | 40 м | Длина тросов |
| $L_{трк}$ | 1,3 ... 40 м | Длина тросов со стороны кабины |
| $L_{трпрот}$ | 40 ... 1 м | Длина тросов со стороны противовеса |
| $d_{тр}$ | $8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ | Диаметр одного троса |
| $N_{тр}$ | 3 | Количество параллельно соединенных тросов |
| k_3 | 0,5 | Коэффициент заполнения сечения тросов |
| $m_{л}$ | 400 кг | Максимальная масса людей, находящихся в кабине лифта |
| m_k | 800 кг | Масса кабины лифта |
| $m_{прот}$ | 1000 кг | Масса противовеса |
| $\rho = D_{квш}/2$ | 0,16 м | Радиус приведения |
| $\lambda_{вт}$ | 0,15 | Логарифмический декремент затухания механических колебаний под действием внутренних сил вязкого трения. |
| V | 1 м/с | Линейная скорость движения кабины лифта |

Скорость вращения канатоведущего шкива:

$$\omega_{квш} = \frac{V}{r} = \frac{1}{0,16} = 6,25 \text{ рад / с}$$

Статический момент на канатоведущем шкиву [12]:

$$M_{\text{кви}} = (m_{\text{л}} + m_{\text{к}} - m_{\text{прот}}) \times g \times r = (400 + 800 - 1000) \times 9,81 \times 0,16 = 313,92 \text{ Н} \times \text{м},$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Передаточное число редуктора:

$$i = \frac{W_{\text{дв}}}{W_{\text{кви}}} = \frac{104,7}{6,25} = 16,75$$

Исходя из требуемого передаточного числа редукторы выбираем одноступенчатый червячный редуктор РЧП-180-18,5-51-У2-С:

- Передаточное число – 18,5;
- Номинальная мощность на быстроходном валу при 1000 об/мин – 8,1 кВт;
- Номинальный крутящий момент на тихоходном валу – 1450 Н·м;
- КПД – 0,86 [10].



Рисунок 2 – Одноступенчатый червячный редуктор РЧП-180

Требуемый момент двигателя:

$$M_{\text{дв}} = \frac{M_{\text{квн}}}{i} \times \eta_{\text{ред}} = \frac{313,92}{18,5} \times 0,86 = 14,593 \text{ Н} \times \text{м}$$

где i – передаточное число редуктора;

$\eta_{\text{ред}}$ – КПД редуктора.

Требуемая мощность двигателя:

$$P_{\text{дв}} = \frac{M_{\text{дв}} \times \omega_{\text{дв}}}{h} = \frac{14,593 \times 104,7}{0,6} = 2,5 \text{ кВт}$$

Выбираем двигатель типа 5АИ112МВ6 со следующими параметрами:

Таблица 2 – Параметры двигателя

| $P_{\text{ном}},$ кВт | $U_{\text{ном}},$ В | $I_{\text{ном}},$ А | $\eta,$ % | $\cos\varphi$ | $n_{\text{ном}},$ об/мин | $s_{\text{ном}},$ о.е. | $J_{\text{дв}},$ кг·м ² | $I_{\text{п}}/I_{\text{н}}$ | $M_{\text{п}}/$ $M_{\text{н}}$ | $M_{\text{макс}}/$ $M_{\text{н}}$ |
|--------------------------|------------------------|------------------------|--------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 4 | 220 | 9,6 | 81 | 0,78 | 953 | 0,047 | 0,021 | 6,5 | 2,1 | 2,1 |



Рисунок 3 – Асинхронный электродвигатель 5АИ112МВ6

2.2 Выбор преобразователя частоты

С учетом выбранного электродвигателя, производим выбор ПЧ.

Предварительный выбор ПЧ был сделан на ПЧ фирмы ЭЛЕСИ специализированной серии для лифтов ESD-TCL [1]. Серия преобразователей частоты (ПЧ) ESD-TCL оптимизирована для применения в составе главного привода грузопассажирских лифтов жилых и административных зданий, и предназначена для управления скоростью вращения и крутящим моментом электродвигателей (ЭД) переменного тока мощностью от 5,5 до 22 кВт.

На основании параметров лифта и мощности электродвигателя по таблице выбора модели ПЧ был сделан выбор марки ESD-TCL-7.5.

Таблица 3 – Таблица выбора моделей

| Тип лифта (кг/м/с) | Мощность ЭД, кВт* | Тип ПЧ (с ДС) | Тип ПЧ (без ДС) |
|--------------------|-------------------|---------------|-----------------|
| 400 / 0,6 | 4,0...5,0 кВт | ESD-TCL-5,5 | ESD-TCL-5,5 |
| 400 / 1 | 5,0...5,5 кВт | ESD-TCL-5,5 | ESD-TCL-7,5 |
| 630 / 1 | 6,5...7,5 кВт | ESD-TCL-7,5 | ESD-TCL-11 |
| 630 / 1,6 | 9,0...11,0 кВт | ESD-TCL-11 | ESD-TCL-15 |
| 1000 / 1 | 13,0...15,0 кВт | ESD-TCL-15 | ESD-TCL-18 |
| 1000 / 1,6 | 15,0...18,5 кВт | ESD-TCL-18 | ESD-TCL-22 |

* может отличаться в зависимости от производителя лебедки

На основании [1] можно сделать вывод, что ПЧ выбран верно, и не требует дополнительных расчетов.

На рисунке 4 приведен внешний преобразователя.



Рисунок 4 – Внешний вид преобразователя серии ESD-TCL

На рисунке 5 приведена схема соединения ПЧ.

Таблица 4 – Технические данные

| Параметры | Характеристики |
|--|--|
| Функции управления | |
| Скалярный в разомкнутой системе | диапазон регулирования скорости 1:10 |
| Скалярный с обратной связью по скорости | диапазон регулирования скорости 1:40 |
| Векторный в разомкнутой системе | диапазон регулирования скорости 1:20 |
| Векторный с обратной связью по скорости | диапазон регулирования скорости 1:1000 |
| Диапазон изменения частоты выходного напряжения, Гц | 0...320 (шаг 0,1 Гц) |
| Стабилизация момента электродвигателя, % | ±5 |
| Пусковой момент, % от номинального значения, не менее | 200 |
| Ток срабатывания защиты при коротком замыкании, % от номинального значения | 200 |
| Электрические параметры | |
| Мощность управляемого электродвигателя, кВт | 3-22 |
| Перегрузочная способность: ■ при токе 150-200 % от номинального значения, с ■ при токе 120-150 % от номинального значения, с | 60 180 |
| Напряжение питающей сети, В | 380 (-15% .. +10%) |
| Частота питающей сети, Гц | 50 ± 2 |
| Встроенный источник питания дискретного интерфейса внешних устройств: ■ напряжение питания, В ■ ток нагрузки, мА | 24 300 |

Таблица 5 – Технические данные.

Продолжение

| Параметры сигналов ввода-вывода | |
|---|--|
| Многоцелевые входные дискретные каналы управления. Напряжение, В Количество каналов, шт. | Настраиваемая логика Р или N 24 8 |
| Многоцелевые выходные дискретные каналы управления, тип «Открытый коллектор»: ■ напряжением постоянного тока, В ■ постоянным током, мА Количество каналов, шт. | 24 150 2 |
| Релейный выход: ■ переменное напряжение, В, не более ■ переменным током, А, не более ■ постоянное напряжение, В, не более ■ постоянным током, А, не более Количество каналов, шт. | 250 2 30 2 4 |
| Вход подключения датчика температуры электродвигателя: Диапазон измерения сопротивления датчика, кОм | 0.1...4 |
| Дифференциальный импульсный вход (подключение датчика скорости): Напряжение, В Ток, мА Частота, кГц | 5 100 0 -300 |
| Интерфейсы связи | USB для связи с ПК; RS-485 (Modbus RTU, Profibus DP) |
| Максимальная скорость обмена, Кбит/с | 115 |
| Условия эксплуатации | |
| Степень защиты | IP20 |
| Диапазон рабочих температур, °C | -10...+50 |
| Относительная влажность при температуре 35 °C, %, не более | 95 |
| Атмосферное давление, кПа | 84...106,7 |
| Параметры надёжности | |
| Срок службы, лет, не менее | 15 |
| Время наработки на отказ, часов, не менее | 50000 |
| Гарантийный срок эксплуатации, мес. | 24 |
| Защитные функции ESD-TCL ■ Ведение журнала событий ■ Защита от обрыва фаз входных / нагрузки ■ Защита от понижения / превышения напряжения ■ Защита от перегрева преобразователя частоты ■ Защита от перегрева электродвигателя (по датчику температуры) ■ Защита от перегрева тормозного резистора ■ Времятоковая защита ■ Защита от КЗ м/у фазами / на землю ■ Контроль опрокидывания двигателя ■ Контроль потери задания скорости / связи по послед. Интерфейсу ■ Контроль работы вентилятора / датчика температуры | Есть Есть Есть Есть Есть Есть Есть Есть Есть Есть Есть Есть |
| Отображаемые параметры ■ Выходная частота инвертора ■ Выходное напряжение ■ Средний ток электродвигателя (действующее значение) ■ Частота вращения вала ЭД (датчика положения) ■ Причина остановки ЭД ■ Параметры разгона и торможения | Есть Есть Есть Есть Есть Есть |

2.3 Выбор автоматического выключателя и пускателя

Для защиты двигателей от токов короткого замыкания, токов перегрузки необходимо выбрать автоматические выключатели. Защитные

аппараты выбираются по току электромагнитного расцепителя, току теплового расцепителя и току короткого замыкания.

1. Необходимо определить пусковой ток, зная номинальный ток электроприемника:

$$I_{\text{пуск}} = 6,5 \times I_H = 6,5 \times 9,6 = 62,4 \text{ A}$$

2. Определяем кратковременный ток:

$$I_{\text{кр}} = 1,25 \times I_{\text{пуск}} = 1,25 \times 62,4 = 78 \text{ A}$$

3. Ток электромагнитного расцепителя должен быть больше кратковременного тока:

$$I_{\text{эм}} \geq I_{\text{кр}}$$

По время-токовой характеристике отключения выбираем уставку электромагнитного расцепителя равную 10, т.е.

$$I_{\text{эм}} = 10 \times I_H = 10 \times 9,6 = 96 \text{ A}$$

где I_H - номинальный ток двигателя.

Проверка по току короткого замыкания:

$$I_{\text{кз}} \geq I_{\text{эм}};$$

$$I_{\text{кз}} = 10 \times I_H = 10 \times 9,6 = 96 \text{ A}.$$

Выбираем автоматический выключатель фирмы IEK марки ВА47-29 с характеристикой электромагнитного расцепителя «С» и номинальным током 10 А [16].



Рисунок 6 – Автоматический выключатель ВА47-29

Для коммутации силовой цепи электродвигателя выбираем малогабаритный контактор серии КМИ фирмы IEK марки КМИ-11210.

Технические характеристики контактора приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики КМИ

| | |
|---|-----|
| Номинальное рабочее напряжение переменного тока U_{\sim} , В | 400 |
| Номинальный рабочий ток I_s , категория применения AC-3 ($U_e < 400$ В), А | 12 |
| Условный тепловой ток I_{th} ($t^\circ < 40^\circ$), категория применения AC-1, А | 25 |
| Максимальная кратковременная нагрузка ($t < 1$ с), А | 216 |
| Номинальное напряжение катушки управления U_c , В~ | 230 |
| Мощность потребления катушки при U_c , ВА | 60 |
| Механическая износостойчивость, млн. циклов | 2 |



Рисунок 7 – Внешний вид контактора КМИ

2.4 Выбор датчиков

Информация о скорости и пройденном пути поступает в систему управления с помощью энкодера E100H, специально предназначенного для элеваторных систем.



Рисунок 8 – Инкрементный энкодер E100H фирмы «Autonics»

Основные технические данные:

- Число меток на оборот - 1024
- Питание 24 VDC $\pm 5\%$
- Уровень выходного информационного сигнала ± 5 В
- Максимальная скорость вращения 3600 об/мин

Для получения информации о напряжении и токе в статорной обмотке двигателя используем датчики тока и напряжения на основе эффекта Холла фирмы «LEM» Германия [17].

Датчик тока LA 55-P:

- Диапазон измерений от 0 до ± 70 А
- Точность 0,65% от $I_{ном}$
- Температура от -25 до +85 °С

Датчик напряжения LV 25-P:

- диапазон измерений ток от $0...14 \times 10^{-3}$ А (0-700В)
- номинальный выходной ток 25 мА
- температура от 0 до +70 °С

2.5 Выбор станции управления лифтом

Выбираем станцию управления лифтами серии СУЛ производства ООО «ЭЛПРО-М» [14].



Рисунок 9 – Внешний вид станции

Станция разработана из потребностей модернизации существующего парка лифтового оборудования. Для реализации данной задачи при разработке станций управления были учтены особенности существующих схем управления лифтами. При этом соблюдается полное соответствие маркировки всех внешних цепей, что значительно упрощает монтаж станции. Кроме того схема управления станций серии СУЛ реализована таким образом, что замена существующего шахтного оборудования не требуется.

Разработанные станции управления являются универсальными устройствами, так как могут использоваться не только при модернизации лифтов, но и новом строительстве. Определенная гибкость достигается использованием микропроцессорного контроллера, на базе которого создана станция. Данное устройство анализирует состояние всех датчиков и приборов безопасности и управляет режимами работы лифта. Контролер имеет текстовую двухстрочную индикацию, позволяющую определить местоположение кабины, состояние дверей, направление и скорость движения, а также точную остановку. При возникновении внештатной ситуации, на дисплее отображается причина аварии. Все события и аварии фиксируются в энергонезависимой памяти устройства. Кроме того в станции реализована возможность доступной параметризации микропроцессорного контроллера с указанием количества этажей (до 32-х), типа датчиков позиционирования, наличия подпольного контакта и других параметров.

В станции управления лифтом предусмотрен интерфейс RS232, RS485. Это позволяет производить управление лифтом и передавать информацию о состоянии лифта в диспетчерский пункт.

Учитывая необходимость высокой надежности устройства в станции предусмотрена дублированная система безопасности. В случае выхода из строя микропроцессорного устройства по какой-либо причине безопасность обеспечивается с помощью электрических блокировок, полностью исключающих движение кабины с открытыми дверями и в аварийных ситуациях.

Необходимо отметить, что для сборки станций серии СУЛ подобрано оборудование зарубежных производителей высокого качества с относительно невысокой стоимостью, что позволяет повысить надежность и износостойкость станций при сохранении доступной цены на изделие. При необходимости замена каких-либо составных частей изделия не вызовет особых сложностей.

Компоновка станции учитывает все необходимые требования для удобства монтажа, наладки и обслуживания. Все оборудование расположено в одной плоскости с возможностью доступа к нему. Разводка проводов выполнена в пластиковых коробках с разделением силовых и контрольных цепей.

Таким образом, учитывая, что в большинстве случаев причиной выхода из строя лифтов является износ устаревших релейных станций управления при нормальной работоспособности остального оборудования, простая замена старой станции на новую значительно упрощает ремонт и позволяет в кратчайшие сроки восстановить нормальную работу лифта.

Краткая техническая характеристика предлагаемой станции серии СУЛ:

1. Станция обеспечивает управление движением лифтовой кабины с автоматическим закрытием/открытием дверей в лифтовой шахте.

2. Станция реализует алгоритм смешанного управления пассажирского лифта со скоростью движения от 0,25 м/с до 1,6 м/с для сооружений до 32 этажей и грузоподъемностью от 240 кг. до 5000 кг..

3. Станция обеспечивает аварийную остановку лифта в случае нарушения цепей безопасности.

4. Станция имеет возможность подключения до 150 внешних сигналов напряжением 24 В.

5. Станция может функционировать в одном из следующих режимов:

- нормальная работа - основной режим работы лифта по обслуживанию приказов и вызовов;
- режим управления из машинного помещения - режим работы лифтов без обслуживания приказов и вызовов. Управление движением кабины производится с помощью кнопок, расположенных на лицевой части станции;

- режим ревизии - режим работы без обслуживания приказов и вызовов. Управление движением кабины производится с кнопочного аппарата на крыше кабины. Движение происходит только на малой скорости;

- режим аварии - данный режим устанавливается автоматически при обнаружении станцией признака аварийного состояния. Движение лифта не выполняется. На индикаторе отображаются коды аварийных состояний.

- режим перевозки пожарных подразделений (ППП).

6. Станция выполняет автоматический выход из аварийного состояния при исчезновении причин аварии.

7. Станция имеет индикацию следующих параметров:

- номер этажа;
- положение дверей;
- наличие ДТО;
- направление движения;
- скорость движения;
- зарегистрированные приказы и вызовы;
- коды аварий.

8. Станция имеет возможность выдачи аварийной и оперативной информации по RS232, RS485 в систему диспетчеризации.

9. Рабочие условия эксплуатации станции:

- температура окружающего воздуха -5°C до +60°C
- относительная влажность окружающего воздуха от 20 до 80% при температуре +25°C

- атмосферное давление 84 – 106,6 кПа (630 – 800 мм рт. ст.)

10. Изделие предназначено для работы во взрывобезопасной среде, не содержащей агрессивных паров в концентрации, разрушающих металл и изоляцию, ненасыщенной пылью и водяными парами.

11. Защита от выхода из строя двигателя дверей путем ограничения количества циклов открывания-закрывания.

3. Разработка функциональной схемы системы электропривода

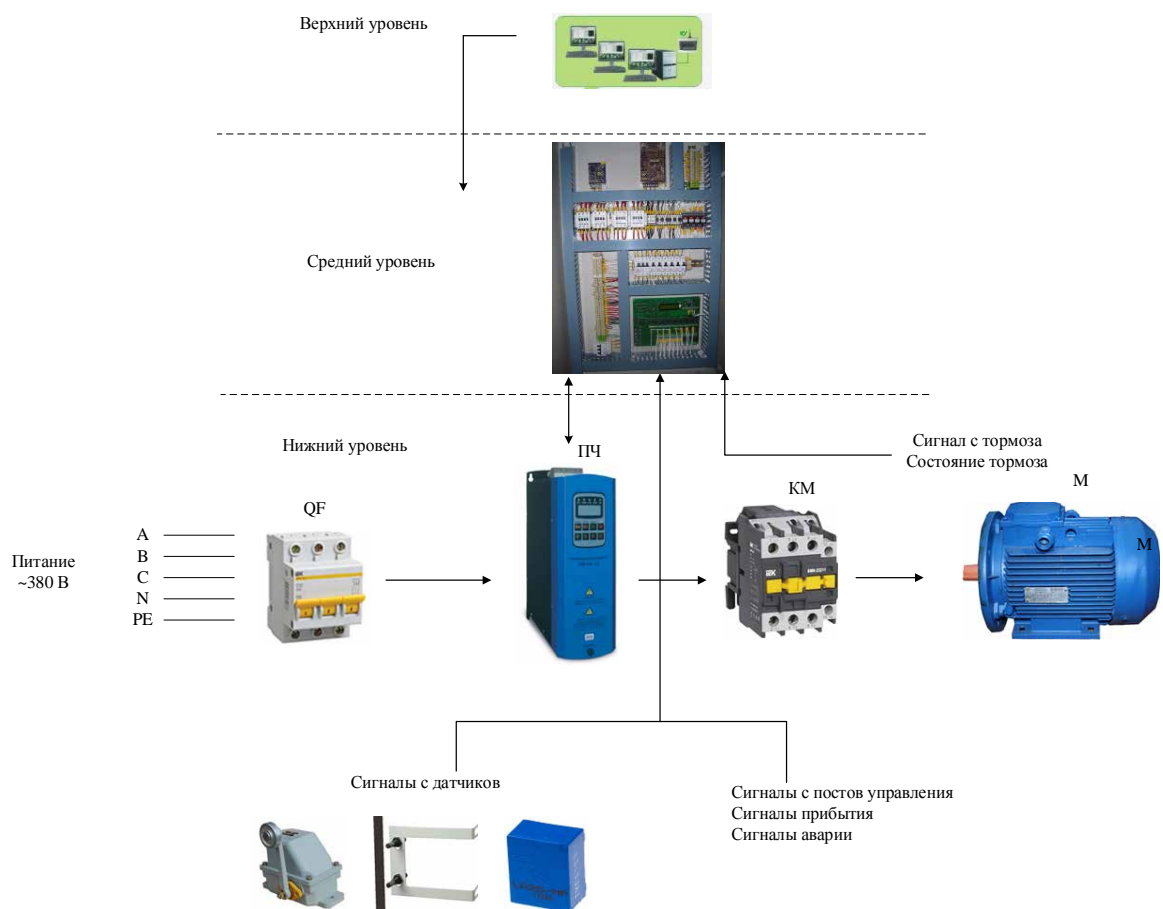


Рисунок 10 – Блок-схема соединения аппаратных средств

Приведем расшифровку аббревиатур, приведенных на схеме.

QF – автоматический выключатель, ПЧ – преобразователь частоты, М – электродвигатель, КМ – контактор, ПЛК – программируемый логический контроллер.

Для управления технологическим процессом передвижения пассажирского лифта была разработана, трехуровневая структура комплекса технических средств. Данная структура определяет высокую эффективность, надёжность работы и удобство эксплуатации автоматизированной системы управления.

Верхний уровень

В последнее время наблюдается тенденция к оснащению зданий сложным инженерным и коммуникационным оборудованием. Появляется необходимость вести наблюдение за основными системами

жизнеобеспечения здания для предупреждения и быстрого реагирования на неисправности. Данную задачу позволяет решить автоматизированная система контроля лифтового хозяйства. Предназначена для оперативного наблюдения за состоянием лифтового оборудования и своевременного реагирования в случае аварийной ситуации используя каналы GSM сетей связи. Работа системы осуществляется в автоматическом режиме по заранее заложенному алгоритму работы.

Система состоит из центрального диспетчерского пункта (ЦДП), включающего автоматизированные рабочие места (АРМ) диспетчеров и блоков мониторинга (БМ), устанавливаемых в машинных помещениях лифтов.

АРМ диспетчера включает в себя компьютер с установленным специализированным программным обеспечением «Диспетчер-лифт» и коммутационное устройство, осуществляющее связь с БМ.

БМ имеют модульную структуру, которая может быть оптимизирована в зависимости от специфики объектов контроля и обеспечивает:

- дистанционное включение и выключение лифта;
- оповещение о несанкционированном доступе посторонних лиц в машинное отделение;
- оповещение о несанкционированном доступе посторонних лиц в шахту лифта;
- контроль наличия пассажира в лифте;
- оповещение о возникновении аварийных ситуаций:
- нахождение лифта между этажами,
- неисправность привода дверей кабины,
- неисправность системы охраны шахты(датчиков дверей шахты),
- неисправность основного привода(лебедки),
- проникновение человека в шахту лифта,

- многократный реверс дверей.
- дистанционное включение голосовой связи диспетчера с кабиной лифта;
- снятие показаний с счетчика электроэнергии.

Средний уровень

Средний уровень предназначен для программно-логического управления процессом по заданным алгоритмам и построен на базе станции управления лифтом серии СУЛ производства ООО «ЭЛПРО-М».

Нижний уровень

Основу нижнего уровня составляют полевые средства автоматизации: контрольно-измерительные приборы, исполнительные механизмы.

Преобразователь частоты марки ESD-TCL необходимый для частотного управления электродвигателем лифта.

Электродвигатель с короткозамкнутым ротором марки 5АИ112МВ6, необходимы для перемещения кабины лифта.

Датчики положения, определяющие точное местонахождение кабины в шахте, конечные выключатели, комплекты устройств для замедления кабины лифта

4. Математическое описание электропривода лифта

4.1 Расчет параметров схемы замещения электродвигателя

Для расчета механических и электромеханических характеристик произведем расчет параметров схемы замещения [13].

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - [p_* \times I_{1H} \times (1 - s_H) / (1 - p_* \times s_H)]^2}{1 - [p_* \times (1 - s_H) / (1 - p_* \times s_H)]^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{7,27^2 - [0,75 \times 9,6 \times (1 - 0,047) / (1 - 0,75 \times 0,047)]^2}{1 - [0,75 \times (1 - 0,047) / (1 - 0,75 \times 0,047)]^2}} = 2,26 \text{ А,}$$

где $I_{1H} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \times U_{1H} \times \cos f_H \times \eta_H} = \frac{4 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,78 \times 0,81} = 9,593 \text{ A}$ - номинальный ток статора двигателя;

$I_{11} = \frac{p_* \times P_H}{\sqrt{3} \times U_{1H} \times \cos f_{p_*} \times \eta_{p_*}} = \frac{0,75 \times 4 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,761 \times 0,81} = 7,27 \text{ A}$ - ток статора двигателя при частичной нагрузке;

$\cos f_{p_*} = 0,99 \times \cos f_H = 0,99 \times 0,81 = 0,761$ - коэффициент мощности при частичной нагрузке;

$p_* = P / P_H = 0,75$ о.е. - коэффициент загрузки двигателя;

Критическое скольжение:

$$s_k = s_H \times \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - [1 - 2 \times s_H \times b \times (k_{\max} - 1)]}}{1 - 2 \times s_H \times b \times (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,051 \times \frac{2,1 + \sqrt{2,1^2 - [1 - 2 \times 0,047 \times 1,3 \times (2,1 - 1)]}}{1 - 2 \times 0,047 \times 1,3 \times (2,1 - 1)} = 0,216,$$

где $\beta = 0,6 - 2,5$, принимаем $b = 1,3$.

Определяем коэффициент:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \times I_i \times I_{1H}} = 1 + \frac{2,46}{2 \times 6,5 \times 9,6} = 1,018,$$

$$A_1 = \frac{m \times U_{1H}^2 \times (1 - s_H)}{2 \times C_1 \times k_{\max} \times P_H} = \frac{3 \times 220^2 \times (1 - 0,047)}{2 \times 1,018 \times 2,1 \times 4 \times 10^3} = 8,09$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{A_1}{(b + 1/s_k) \times C_1} = \frac{8,09}{(1,3 + 1/0,216) \times 1,018} = 1,341 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \times R_2' \times b = 1,018 \times 1,341 \times 1,3 = 1,775 \text{ Ом}$$

Определим параметр g который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания X_{KH} :

$$g = \sqrt{(1/s_k^2) - b^2} = \sqrt{(1/0,216^2) - 1,3^2} = 4,438,$$

тогда $X_{KH} = g \times C_1 \times R_2' = 4,438 \times 0,018 \times 3,341 = 6,06 \text{ Ом}$.

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X_{2sn}' = 0,58 \times X_{KH} / C_1 = 0,58 \times 6,06 / 1,018 = 3,452 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению:

$$X_{1sn} = 0,42 \times X_{KH} = 0,42 \times 6,06 = 2,545 \text{ Ом}$$

ЭДС ветви намагничивания E_m , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{(U_{1n} \times \cos f_{1n} - R_1 \times I_{1n})^2 + (U_{1n} \times \sqrt{1 - \cos^2 f_{1n}} + X_{1sn} \times I_{1n})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \times 0,81 - 1,775 \times 9,6)^2 + (220 \times \sqrt{1 - 0,81^2} + 2,545 \times 9,6)^2} = 191,622 \text{ В} \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_m = \frac{E_m}{I_0} = \frac{191,622}{4,26} = 84,79 \text{ Ом}$$

4.2 Расчет статических характеристик при частотном управлении

При частотном регулировании скорости выбираем следующий закон управления:

$$\frac{U_{1j}}{f_{1j}} = \text{const}$$

при следующих значениях частот напряжения обмотки статора:

$$f_{1n} = 50 \text{ Гц}, f_{12} = 40 \text{ Гц}, f_{13} = 30 \text{ Гц}, f_{14} = 5 \text{ Гц}$$

Относительное значение частоты питающей сети:

$$f_{1*} = \frac{f_{1j}}{f_{1H}} = \frac{50}{50} = 1, \quad f_{2*} = \frac{40}{50} = 0,8, \quad f_{3*} = \frac{30}{50} = 0,6, \quad f_{4*} = \frac{5}{50} = 0,1$$

Фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя:

$$U_{11} = U_{1H} \times f_{1*} = 220 \times 1 = 220 \text{ В}, \quad U_{12} = U_{1H} \times f_{2*} = 220 \times 0,8 = 176 \text{ В},$$

$$U_{13} = U_{1H} \times f_{3*} = 220 \times 0,6 = 132 \text{ В}, \quad U_{14} = U_{1H} \times f_{4*} = 220 \times 0,1 = 22 \text{ В}$$

Синхронная угловая скорость:

$$\omega_{01} = \frac{2 \times p \times f_{1H}}{z_p} = \frac{2 \times p \times 50}{3} = 104,7 \text{ рад/с}, \quad \omega_{02} = \frac{2 \times p \times f_{12}}{z_p} = \frac{2 \times p \times 40}{3} = 83,78 \text{ рад/с},$$

$$\omega_{03} = \frac{2 \times p \times f_{13}}{z_p} = \frac{2 \times p \times 30}{3} = 62,83 \text{ рад/с}, \quad \omega_{04} = \frac{2 \times p \times f_{14}}{z_p} = \frac{2 \times p \times 5}{3} = 10,47 \text{ рад/с}$$

где z_p – число пар полюсов.

Механическая характеристика асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания:

$$M = \frac{3 U_{1j}^2 \times R_2'}{\omega_{0j} \times (1 - \omega / \omega_{0j})^2 \times X_{KH}^2 \times f_{1*}^2 + R_1^2 + \frac{R_2'}{1 - \omega / \omega_{0j}} + \frac{R_1 \times R_2'}{(1 - \omega / \omega_{0j}) \times X_{MH} \times f_{1*}}}$$

ω , рад/с

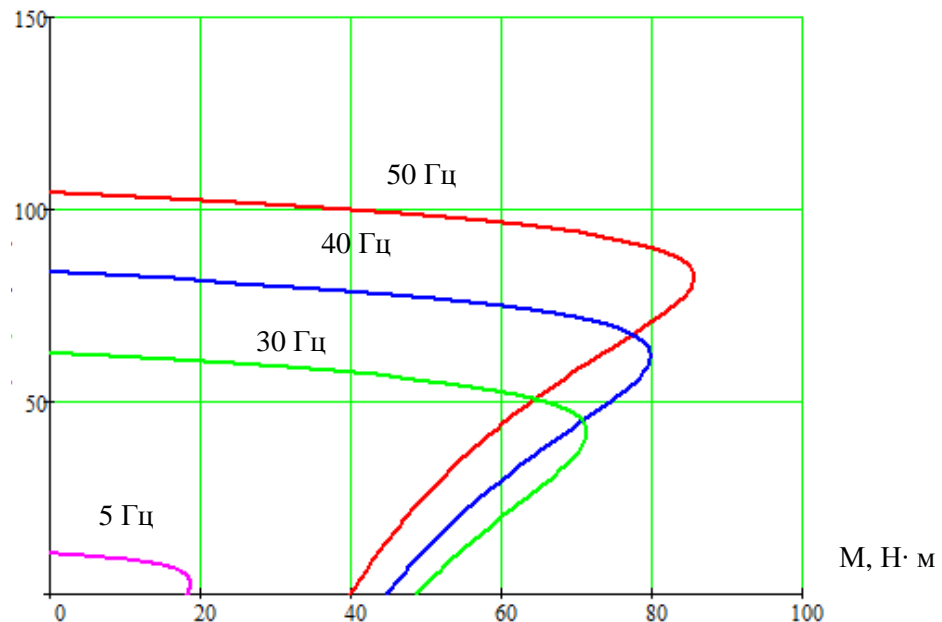


Рисунок 11 – Механические характеристики $M=f(\omega)$ при частотном регулировании скорости с законом регулирования $U_{1j}/f_{1j}=\text{const}$

Электромеханическая характеристика $\Gamma_2=f(\omega)$ для заданного закона регулирования:

$$I_2' = \frac{U_{1j}}{\sqrt{\frac{\sigma}{\epsilon} R_1 + \frac{R_2'}{(1 - w/w_{0j})} \frac{\sigma^2}{\sigma} + X_{KH}^2 \times f_{j*}^2 + \frac{\sigma}{\epsilon} \frac{R_1 \times R_2'}{(1 - w/w_{0j}) \times X_{mH} \times f_{j*} \frac{\sigma}{\sigma}}}}$$

ω , рад/с

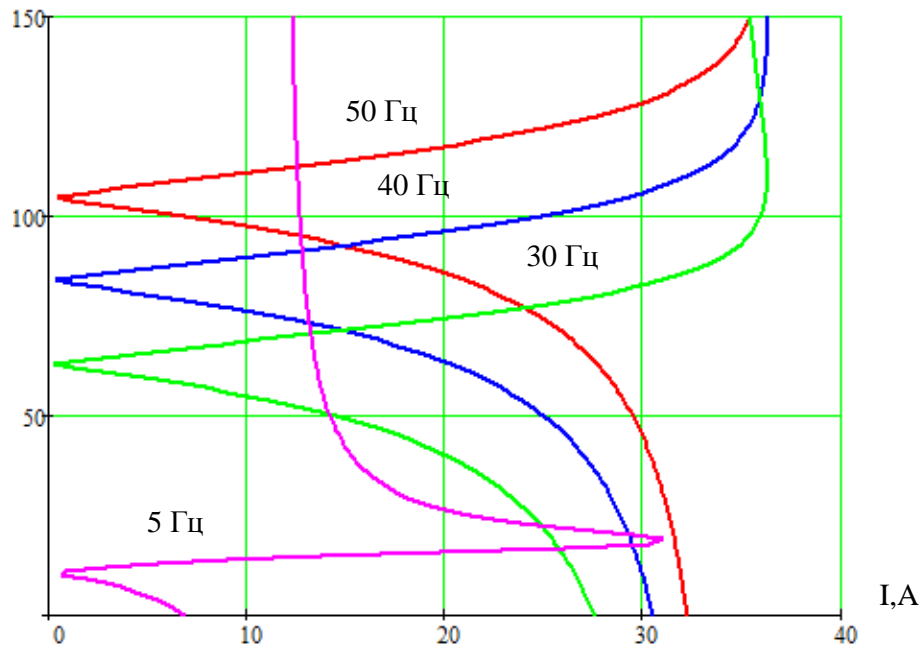


Рисунок 12 – Электромеханические характеристики $\Gamma_2=f(\omega)$ при частотном регулировании скорости с законом регулирования $U_{1j}/f_{1j}=\text{const}$

Электромеханическая характеристика $I_1=f(\omega)$ при частотном управлении:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \times I_0 \times I_2' \times \sin j_2},$$

$$\text{где } \sin j_2 = \frac{X_{KH} \times f_{j*}}{\sqrt{\frac{\sigma}{\epsilon} R_1 + \frac{R_2'}{(1 - w/w_{0j})} \frac{\sigma^2}{\sigma} + X_{KH}^2 \times f_{j*}^2}}, \quad I_0 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1sH} + X_m)^2 \times f_{j*}^2}}$$

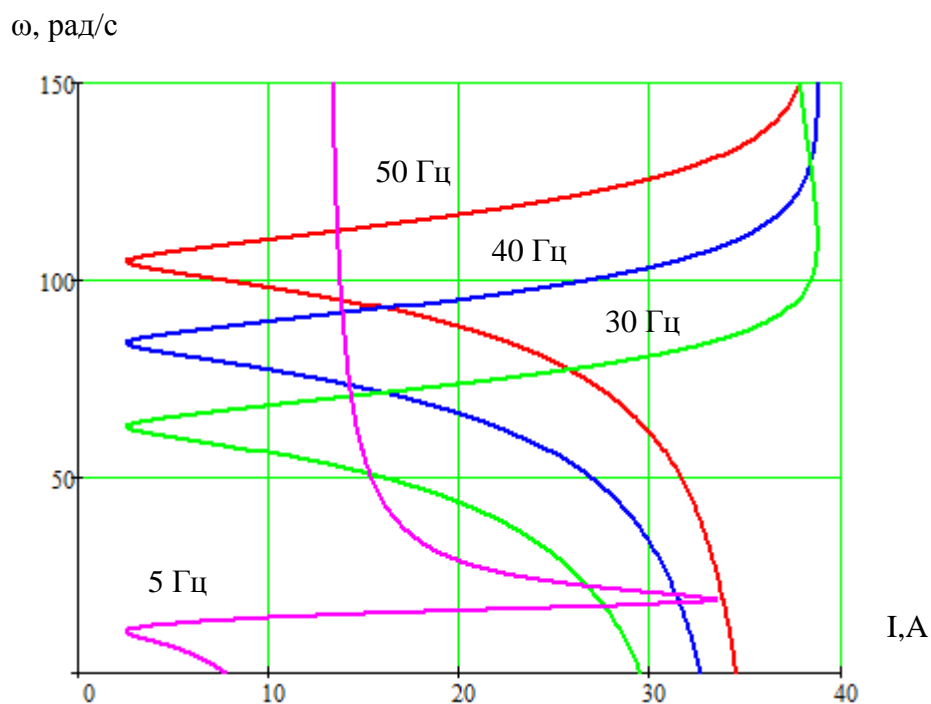


Рисунок 13 – Электромеханические характеристики $I_1=f(\omega)$ при частотном регулировании скорости с законом регулирования $U_{1j}/f_{1j}=\text{const}$

4.3 Динамическая модель АД во вращающейся системе координат для расчета переходных процессов

Математическое описание и структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q , ориентированной по вектору потокосцепления ротора [9]:

$$\begin{aligned}
U_{1d} &= R_3 \times (T_3 \times p + 1) \times I_{1d} - \frac{R_2' \times L_m}{L_2^2} \times Y_{2d} - w_{\text{кс}} \times s \times L_1 \times I_{1q}; \\
U_{1q} &= R_3 \times (T_3 \times p + 1) \times I_{1q} + w_{\text{кс}} \times s \times L_1 \times I_{1d} + \frac{L_m}{L_2} \times z_p \times w \times Y_{2d}; \\
0 &= (T_2 \times p + 1) \times Y_{2d} - L_m \times I_{1d}; \\
w_{\text{кс}} &= z_p \times w + \frac{L_m \times R_2'}{L_2} \times \frac{I_{1q}}{Y_{2d}}; \\
M_{\text{эм}} &= \frac{3}{2} \times \frac{L_m}{L_2} \times z_p \times Y_{2d} \times I_{1q}; \\
w &= \frac{1}{J \times p} \times (M_{\text{эм}} - M_c); \\
R_3 &= R_1 + R_2' \times \frac{L_m^2}{L_2^2}; \quad T_3 = \frac{s \times L_1}{R_3}; \quad T_2 = \frac{L_2}{R_2'}.
\end{aligned}$$

где $U_{1d} = U_{1q} = U_1$ – постоянные по форме составляющие напряжения статора в ориентированной по вектору потокосцепления ротора \vec{Y}_2 , вращающейся синхронно с полем статора системе координат d, q ;

I_{1d}, I_{1q} – составляющие тока статора в системе координат d, q , А;

$Y_{2d} = |\vec{Y}_2|$ – потокосцепление ротора в системе координат d, q , Вб.

Уравнениям соответствует приведенная на рисунке 14 структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, выполненная во вращающейся системе координат d, q ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора.

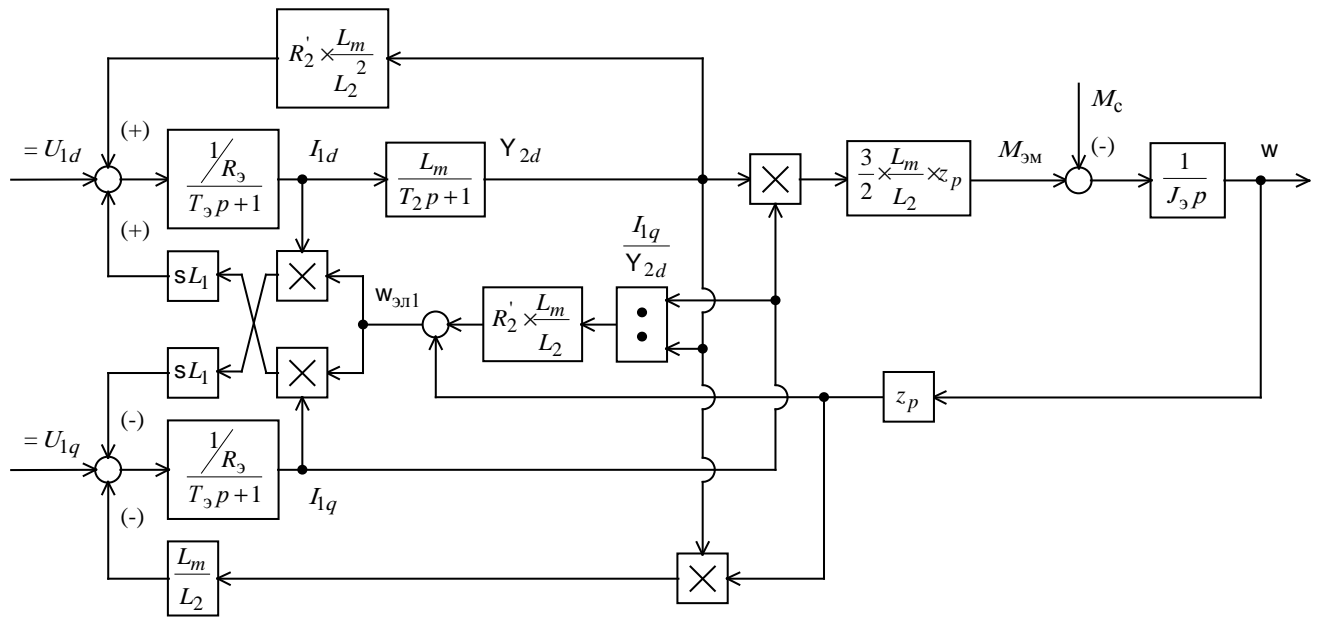


Рисунок 14 – Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора

Далее по структурной схеме имитационной модели АД во вращающейся системе координат собираем такую же модель в среде Matlab Simulink.

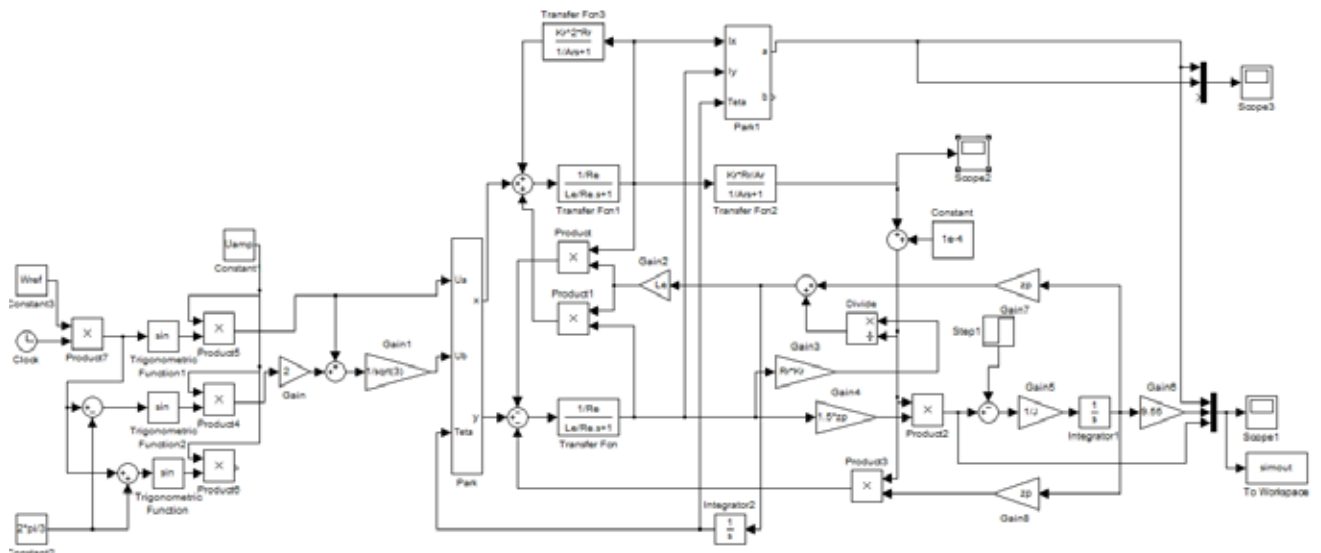


Рисунок 15 – Имитационная модель АД во вращающейся системе координат собранная в среде Matlab Simulink

На вход имитационной модели АД подаем трехфазное напряжение с частотой 50 Гц.

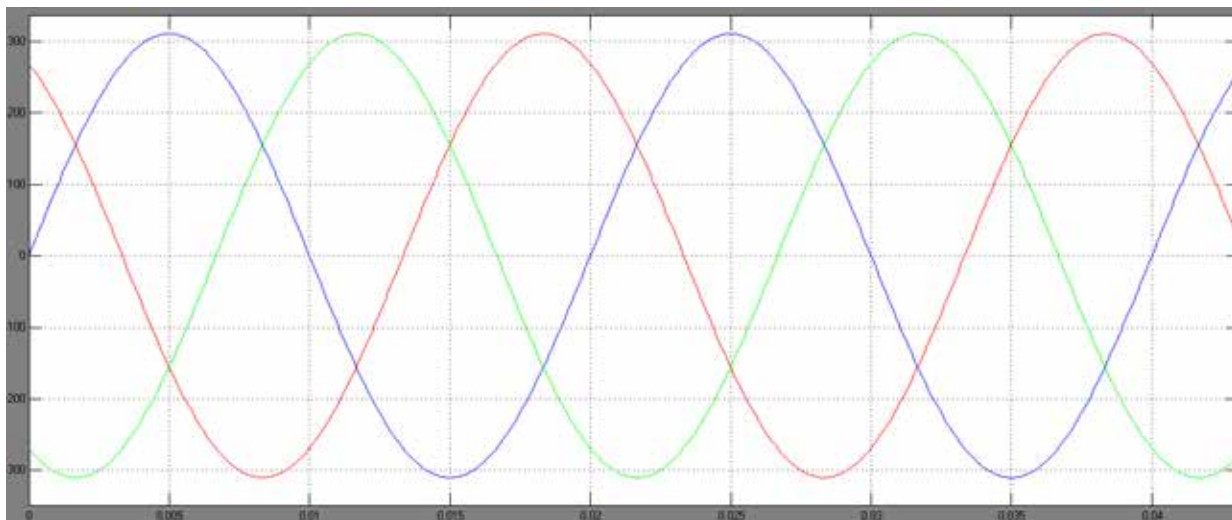


Рисунок 16 – Графики напряжений в трехфазной система координат собранной в среде Matlab Simulink

После делаем преобразование трехфазной системы координат в двухфазную систему координат.

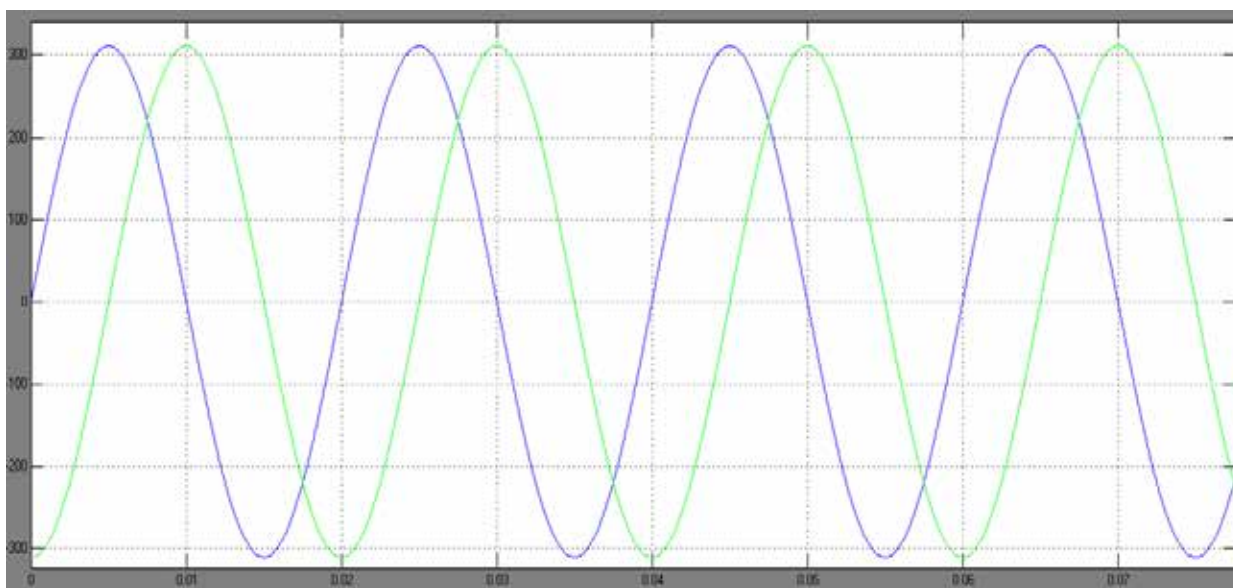


Рисунок 17 – Графики напряжений в двухфазной система координат собранной в среде Matlab Simulink

Как видно из графиков напряжений мы перешли от трёхфазной системы к двухфазной системе координат с частотой 50 Гц. Угол сдвига между фазами составляет 90 градусов.

И последним этапом преобразования напряжения во вращающуюся систему координат.

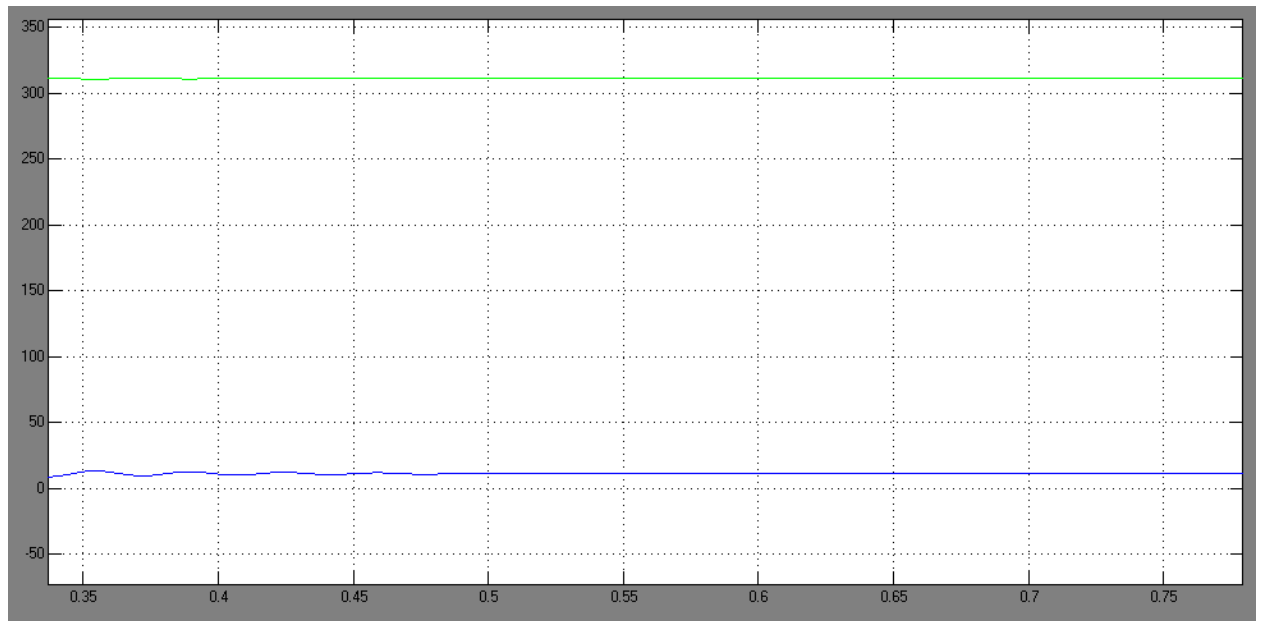


Рисунок 18 – Графики напряжений во вращающейся система координат собранной в среде Matlab Simulink

Как видно из графиков напряжений мы перешли от двухфазной системы к вращающейся системе координат с неподвижными векторами $U_d = 311$ В и $U_q = 0$ В.

Далее вводим в М-File паспортные данные и параметры схемы замещения АД.

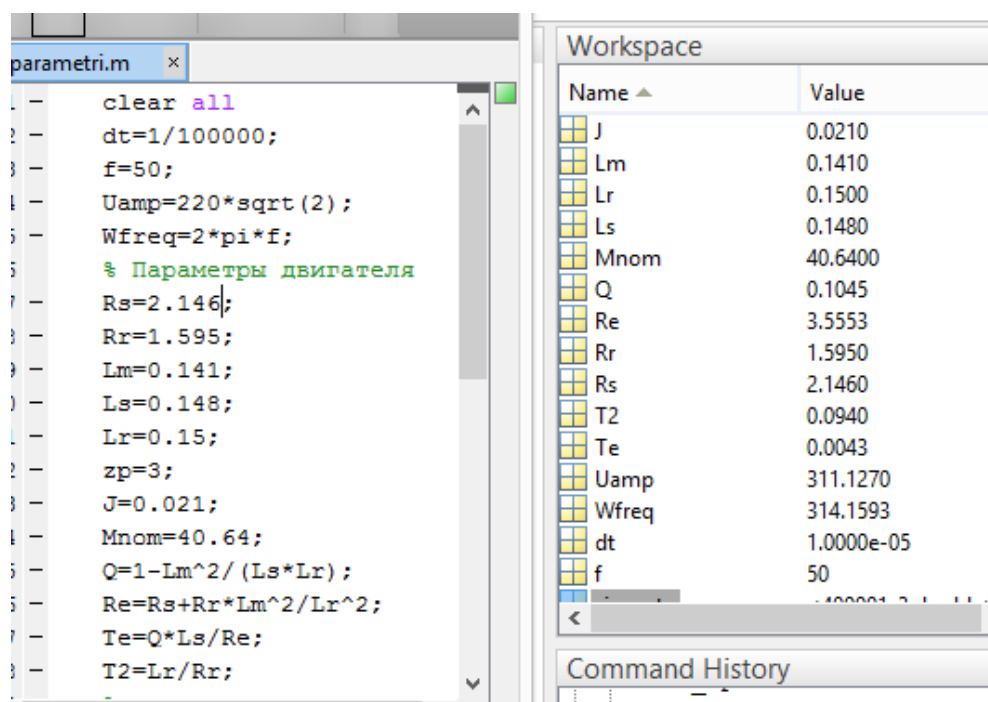


Рисунок 19 – М-File с паспортными данными и параметрами схемы
замещения АД марки 5АИ112МВ6

Производим расчет имитационной модели АД во вращающейся системе координат в среде Matlab Simulink и получаем графики переходных процессов: скорости, тока и момента представлены на рисунке 20.

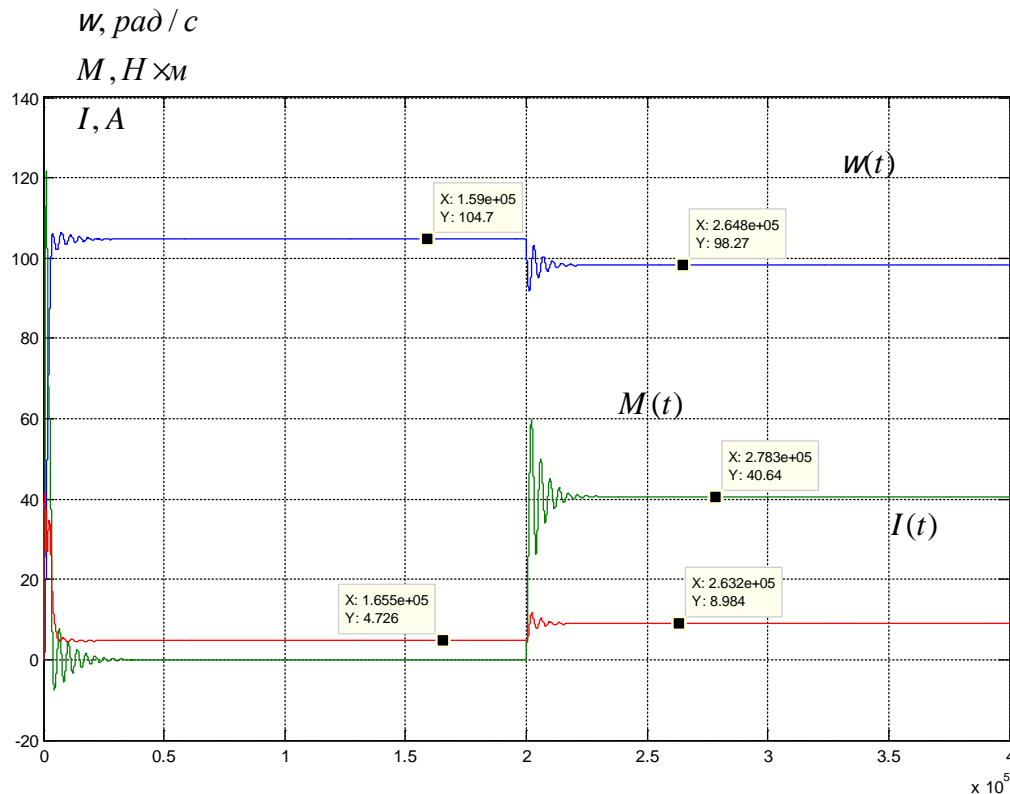


Рисунок 20 – Графики переходных процессов тока, момента и скорости динамической модели АД во вращающейся системе координат собранной в среде Matlab Simulink

Таблица 7 – Сравнение расчетных и полученных моделированием координат

| Выходные координаты | Расчетные | Полученные моделированием |
|------------------------------|-----------|---------------------------|
| n , рад / с до нагрузки | 104,7 | 104,7 |
| n , рад / с после нагрузки | 98,43 | 98,27 |
| I_n , А | 9,6 | 8,9 |
| M_n , Н × м | 40,64 | 40,64 |

Как видно из таблицы расчетные и экспериментальные результаты практически совпадают, из чего можно сделать вывод, что модель работает правильно.

4.4 Расчет параметров преобразователя

Инвертор с ШИМ может быть представлен линейным усилителем с коэффициентом усиления

$$k_u = \frac{\sqrt{2} \times U_{1\phi n}}{N_{уп. макс}} = \frac{\sqrt{2} \times 220}{1} = 311,13,$$

где $N_{уп. макс}$ - максимальное значение управления на входе преобразователя [11].

Инерционность инвертора характеризуется чистым запаздыванием на величину периода широтно-импульсной модуляции

$$T_{шум} = \frac{1}{f_{шум}} = \frac{1}{10 \times 10^3} = 1 \times 10^{-4} \text{ с},$$

где $f_{шум}$ - несущая частота инвертора, Гц.

С целью упрощения описания инвертора рекомендуется представить его апериодическим звеном

$$W(p)_u = \frac{k_u}{T_u \times p + 1}$$

с эквивалентной постоянной времени

$$T_u = T_{шум} = 1 \times 10^{-4} \text{ с}$$

4.5 Структурная схема линеаризованной САУ

Структурная схема линеаризованной непрерывной САУ частотнорегулируемого двухзонного асинхронного электропривода с векторным управлением приведена на рис. 21 [11].

Структурная схема САУ асинхронного электропривода реализована на основании структурной схемы силового канала преобразователь частоты - двигатель, в которой внутренние связи в двухфазном асинхронном двигателе либо компенсированы, либо не учитываются.

САУ электропривода реализована по схеме с независимым управлением потокосцеплением. В однозонном электроприводе управление на входе контура потокосцепления постоянное $N_{3\psi} = N_{3\psi \text{ макс}} = \text{const}$ (показано пунктиром). В двухзонном электроприводе во второй зоне поток возбуждения двигателя необходимо уменьшать с увеличением скорости. Для этой цели на входе контура потокосцепления устанавливается блок формирования задания потокосцепления (БФЗ ψ), выходной сигнал которого может быть задан в виде зависимости от заданной скорости $N_{3\psi}(N_{3c})$ или фактической $N_{3\psi}(\omega)$ скорости. Ослабление поля двигателя в двухзонном электроприводе в соответствии с зависимостью $N_{3\psi}(N_{3c})$ возможно только при наличии датчика интенсивности скорости. В общем же случае должна формироваться зависимость потокосцепления ротора от фактической скорости двигателя $N_{3\psi}(\omega)$.

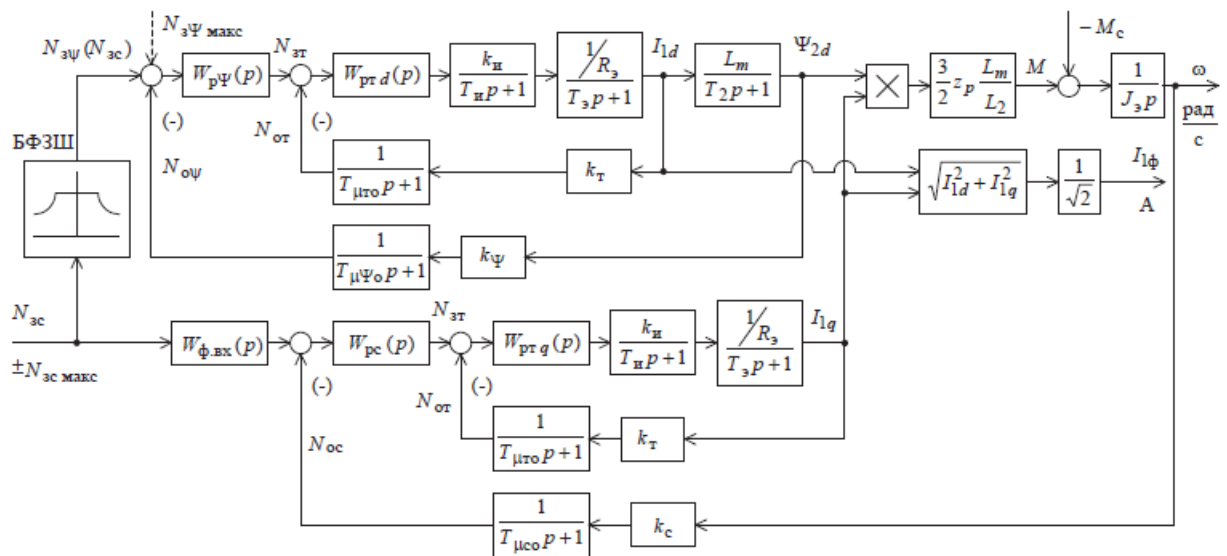


Рисунок 21 – Структурная схема линейаризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении

На схеме рисунка 21 обозначены:

$W(p)_{pT}, W(p)_{p\psi}, W(p)_{pc}$ – передаточные функции регуляторов тока, потокосцепления и скорости;

k_T – коэффициент обратной связи по току, $1/A$;

k_y – коэффициент обратной связи по потокосцеплению ротора, 1/Вб;

k_c – коэффициент обратной связи по скорости, 1/(рад/с);

$T_{\pi o}, T_{\pi y o}, T_{\pi o}$ – малые постоянные времени цепи обратной связи по току, потокосцеплению и скорости, с.

Принимаем следующие значения периодов модуляции:

$n_{oc.T} = 2$ - количество периодов модуляции для измерения тока;

$n_{oc.c} = \frac{T_{oc.T}}{T_{шум}} = 15$ - количество периодов модуляции для измерения скорости;

$n_{oc.y} = n_{oc.c} = 15$ - количество периодов модуляции для измерения или расчет потокосцепления;

Значения малой постоянной времени цепи обратной связи определяется интервалом преобразования результатов измерения или расчет соответствующей регулируемой координаты электропривода:

$$T_{\pi o} = T_{oc.T} = 1,5 \times 10^{-3} \text{ с},$$

где $T_{oc.T} = T_{шум} \times n_{oc.T} = 1,5 \times 10^{-3}$ - интервал преобразования результатов измерения тока, с;

$$T_{\pi y o} = T_{oc.y} = 1,5 \times 10^{-3} \text{ с},$$

где $T_{oc.y} = T_{шум} \times n_{oc.y} = 1,5 \times 10^{-3}$ - интервал расчет потокосцепления, с;

$$T_{\pi o} = T_{oc.T} = 1,5 \times 10^{-3} \text{ с},$$

где $T_{oc.T} = T_{шум} \times n_{oc.T} = 1,5 \times 10^{-3}$ - интервал измерения скорости, с.

Оценим ожидаемое предельное значение полосы пропускания регулируемого электропривода (контура скорости)

$$f_{p\pi} = \frac{0,36 \times f_{шум}}{2 \times \rho \times [n_{oc.c} + 2 \times n_{oc.T} + 2]} = \frac{0,36 \times 10 \times 10^3}{2 \times \rho \times [15 + 2 \times 2 + 2]} = 27 \text{ Гц}$$

Тогда параметры структурной схемы, необходимы для оптимизации контуров регулирования:

-значение номинального потокосцепления двигателя

$$y_{2n} = \sqrt{2} \times I_0 \times L_m = \sqrt{2} \times 4,305 \times 0,141 = 0,858 \text{ Вб};$$

-максимально допустимое значение тока $I_{lq\max}$

$$I_{lq\max} = \sqrt{2} \times \sqrt{(I_{\text{эл.макс}})^2 - (I_0)^2} = \sqrt{2} \times \sqrt{(16,451)^2 - (4,305)^2} = 22,454 \text{ A}$$

где

$$I_{\text{эл.макс}} = \sqrt{\left(\frac{M_{\text{эл.макс}}}{\sqrt{2} \times \frac{3}{2} \times \frac{L_m}{L_2} \times \gamma_{2н}}\right)^2 + (I_0)^2} = \sqrt{\left(\frac{40,64}{\sqrt{2} \times \frac{3}{2} \times \frac{0,141}{0,15}} \times 0,858\right)^2 + (4,305)^2} = 16,451 \text{ A.}$$

4.6 Оптимизация контуров регулирования САУ электропривода

4.6.1 Оптимизация контура тока

Структурная схема контура тока с инерционной обратной связью и полной компенсацией внутренней отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя приведена на рисунке 22. Контуров тока I_{ld} и I_{lq} идентичные [11].

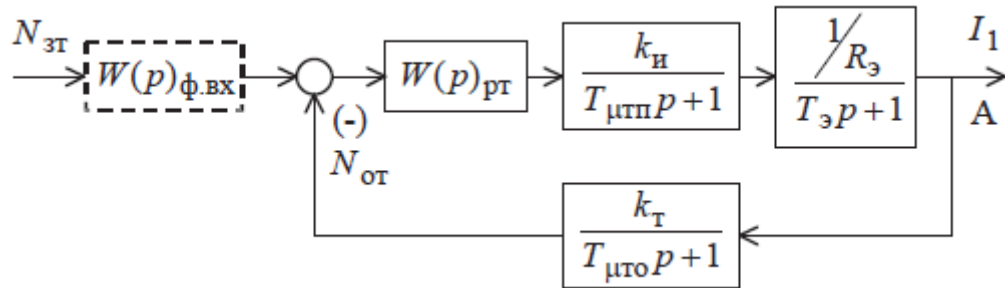


Рисунок 22 – Структурная схема линейризованного контура тока

На схеме рисунка 22 приняты следующие обозначения:

N_{3T} – задание ток;

$T_{птп} = T_{II} = 1 \times 10^{-4} \text{ c}$ - малая постоянная времени в прямом канале контура тока;

$k_T = \frac{N_{3T\max}}{I_{lq\max}} = \frac{1}{22,454} = 0,045 \frac{1}{\text{A}}$ - коэффициент обратной связи по току.

Передаточная функция ПИ-регулятора тока

$$W_{pm}(p) = k_{pT} \times \frac{T_{pT} \times p + 1}{T_{pT} \times p}$$

Коэффициент усиления регулятора тока

$$k_{pT} = \frac{T_э \times R_э}{k_{II} \times k_T \times a_T \times (T_{птп} + T_{мто})} = \frac{4,487 \times 10^{-3} \times 3,547}{311,13 \times 0,045 \times 2 \times 1,6 \times 10^{-3}} = 0,359 \frac{1}{\text{A}}$$

где $a_T = 2$ - коэффициент оптимизации контура тока.

Постоянная времени регулятора тока

$$T_{pT} = T_{\sigma} = 4,487 \times 10^{-3} \text{ c}$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура тока:

$s = 4.3\%$ - перерегулирование;

$t_{py1}^{(5)} = 4,1 \times (T_{m\pi\pi} + T_{m\sigma}) = 4,1 \times 0,0016 = 0,00656 \text{ c}$ - время первого согласования;

$t_{py2}^{(5)} = 4,1 \times (T_{m\pi\pi} + T_{m\sigma}) = 4,1 \times 0,0016 = 0,00656 \text{ c}$ - время переходного процесса при отработке ступенчатого управляющего задания;

$\omega_n^{(M)} = \omega_n^{(\Phi)} = \frac{0,71}{(T_{m\pi\pi} + T_{m\sigma})} = \frac{0,71}{0,0016} = 444 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ - полоса пропускания по модулю и фазе.

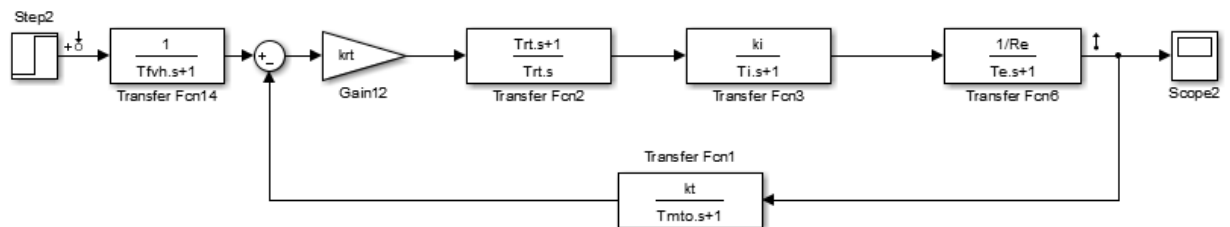


Рисунок 23 – Имитационная модель контура тока в среде Matlab Simulink

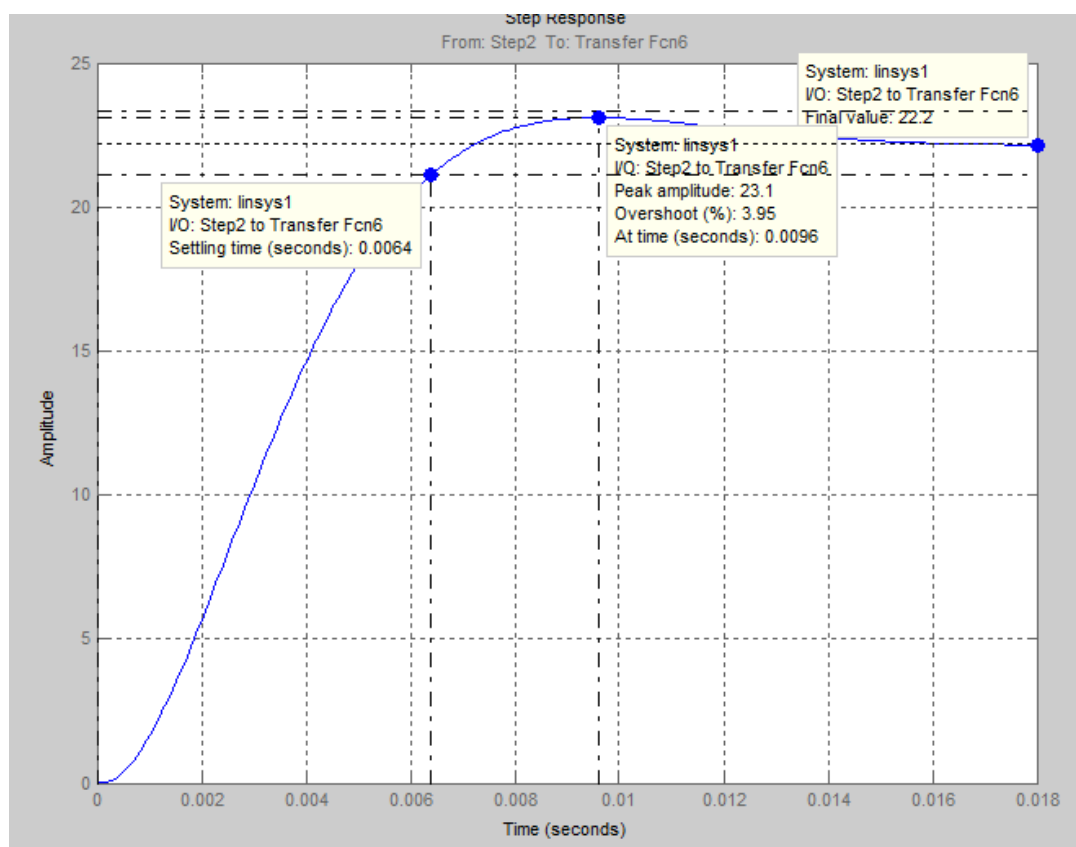


Рисунок 24 – Временная характеристика контура тока

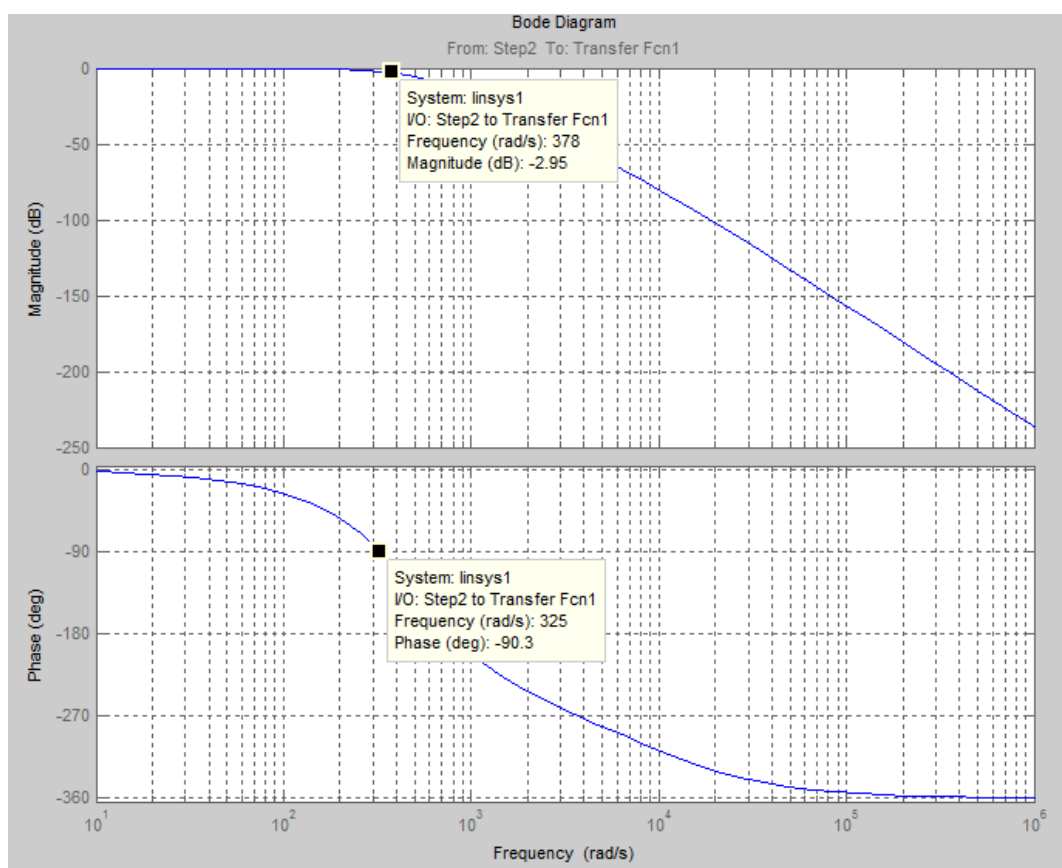


Рисунок 25 – Амплитудно-фазовая частотная характеристика замкнутого контура тока

Для наглядности сведем результаты моделирования в таблицу.

Таблица 8 – Показатели качества переходного процесса в контуре тока

| $t_{py1}^{(5)}, c$ | $t_{py2}^{(5)}, c$ | $s, \%$ | $Dw_{II}^{(m)}, рад / c$ | $Dw_{II}^{(m)}, рад / c$ |
|--------------------------|--------------------|---------|--------------------------|--------------------------|
| Ожидаемые показатели | | | | |
| 0,00656 | 0,00656 | 4,3 | 444 | 444 |
| Результаты моделирования | | | | |
| 0,00645 | 0,00645 | 3,84 | 378 | 378 |

Анализ полученных результатов моделирования показывает, что они согласуются с ожидаемыми показателями работы контура.

4.6.2 Оптимизация контура потокосцепления

Структурная схема контура потокосцепления с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором приведена на рисунке 26 [11].

При оптимизации контура потокосцепления внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией 1го порядка.

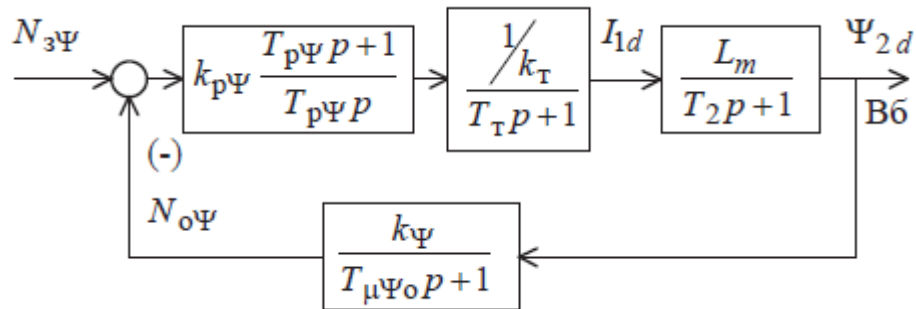


Рисунок 26 – Структурная схема линейризованного контура потокосцепления с ПИ-регулятором

Эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока

$$T_T = a_T \times (T_{\pi\Pi} + T_{\pi o}) = 2 \times 0,0016 = 0,0032 \text{ c}$$

Коэффициент обратной связи контура по потокосцеплению

$$k_y = \frac{N_{3y \text{ макс}}}{y_{2н}} = \frac{1}{0,858} = 1,165 \frac{1}{Bб}$$

Передаточная функция ПИ-регулятора потокосцепления

$$W(p)_{py} = k_{py} \times \frac{T_{py} \times p + 1}{T_{py} \times p}$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора потокосцепления:

$$k_{py} = \frac{T_2 \times k_T}{L_m \times k_y} \times \frac{1}{a_y \times T_{\pi y}} = \frac{0,094 \times 0,045}{0,141 \times 1,165} \times \frac{1}{2 \times 4,7 \times 10^{-3}} = 2,719 \frac{1}{Bб};$$

$$T_{py} = 0,045 \text{ c},$$

где $T_{\pi y} = T_{\pi y n} + T_{\pi y o} = 3,2 \times 10^{-3} + 1,5 \times 10^{-3} = 4,7 \times 10^{-3} \text{ c}$ - эквивалентная малая постоянная контура потокосцепления;

$T_{\pi y n} = T_T = 3,2 \times 10^{-3} \text{ c}$ - малая постоянная времени в прямом канале контура потокосцепления;

$T_{\pi y o} = n_{ocy} \times T_{II} = 15 \times 10^{-4} = 1,5 \times 10^{-3} \text{ c}$ - малая постоянная времени в цепи обратной связи контура потокосцепления;

$a_y = 2$ - коэффициент оптимизации контура потокосцепления.

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура потокосцепления:

$s = 8,1\%$ - перерегулирование;

$t_{py1}^{(5)} = 7 \times (T_{ny_n} + T_{ny_o}) = 7 \times 4,7 \times 10^{-3} = 0,033 \text{ с}$ - время первого согласования;

$t_{py2}^{(5)} = 12 \times (T_{ny_n} + T_{ny_o}) = 12 \times 4,7 \times 10^{-3} = 0,056 \text{ с}$ - время переходного процесса при обработке ступенчатого управляющего задания;

$w_n^{(M)} = \frac{0,5}{(T_{ny_n} + T_{ny_o})} = \frac{0,5}{4,7 \times 10^{-3}} = 106 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ - полоса пропускания по модулю.

$w_n^{(\phi)} = \frac{0,36}{(T_{ny_n} + T_{ny_o})} = \frac{0,36}{4,7 \times 10^{-3}} = 77 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ - полоса пропускания по фазе.

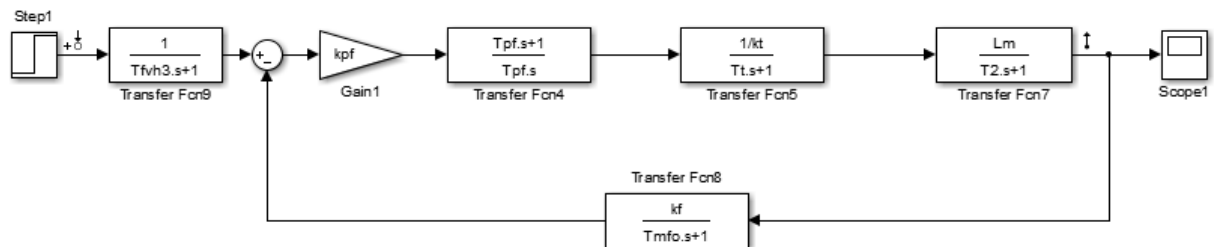


Рисунок 27 – Имитационная модель контура потокосцепления в среде Matlab Simulink

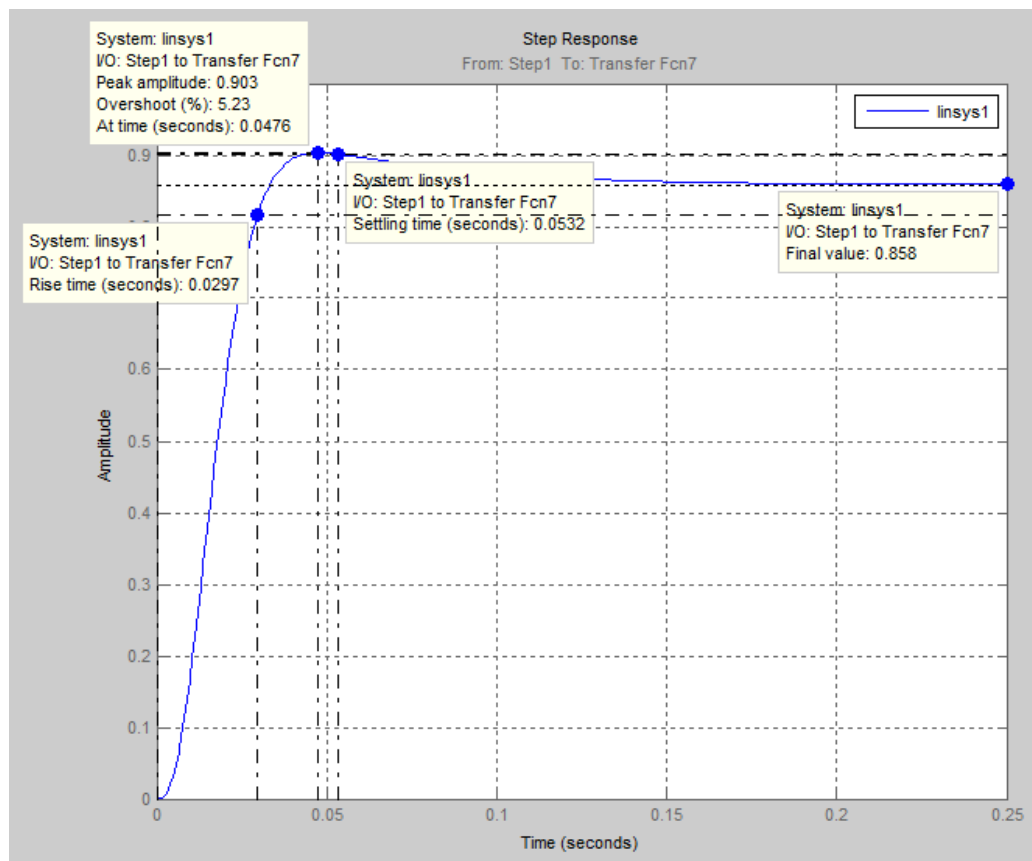


Рисунок 28 – Временная характеристика контура потокосцепления

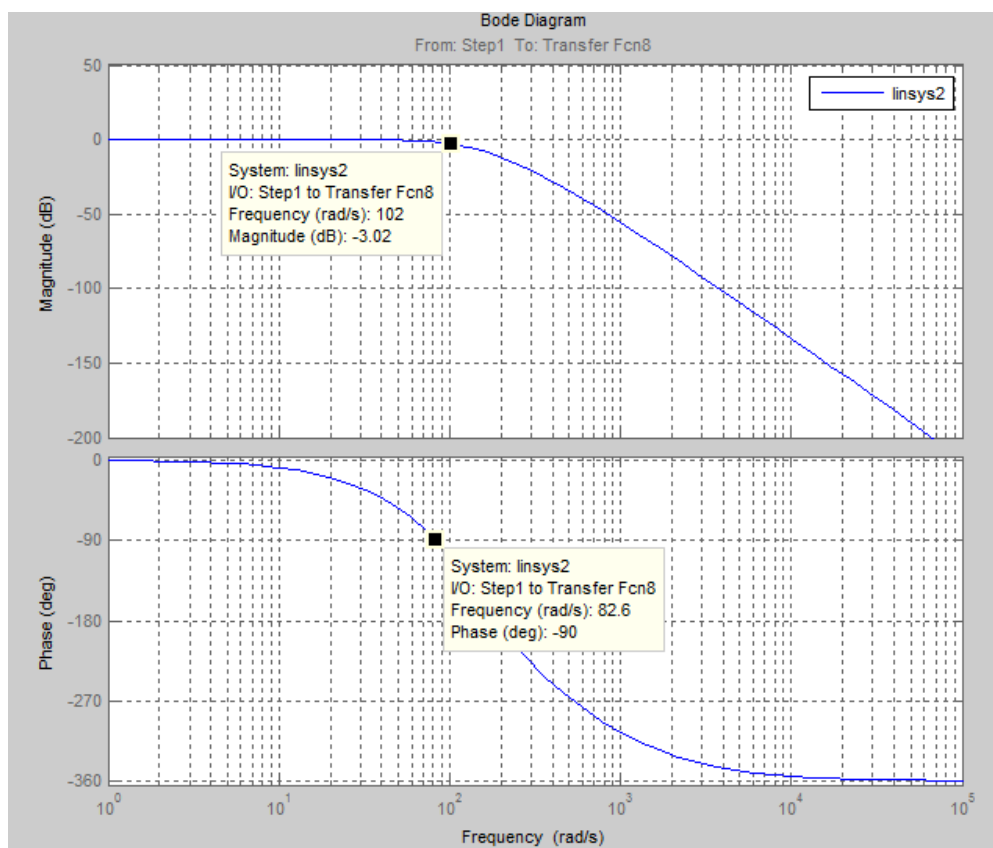


Рисунок 29 – Амплитудно-фазовая частотная характеристика замкнутого контура потокосцепления

Для наглядности сведем результаты моделирования в таблицу.

Таблица 9 – Показатели качества переходного процесса в контуре тока

| $t_{py1}^{(5)}, c$ | $t_{py2}^{(5)}, c$ | $s, \%$ | $Dw_{II}^{(M)}, рад / c$ | $Dw_{II}^{(M)}, рад / c$ |
|--------------------------|--------------------|---------|--------------------------|--------------------------|
| Ожидаемые показатели | | | | |
| 0,033 | 0,056 | 8,1 | 106 | 77 |
| Результаты моделирования | | | | |
| 0,0297 | 0,0532 | 5,23 | 102 | 83 |

Анализ полученных результатов моделирования показывает, что они согласуются с ожидаемыми показателями работы контура.

4.6.3 Оптимизация контура скорости

Структурная схема контура скорости с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором приведена на рисунке 30 [11].

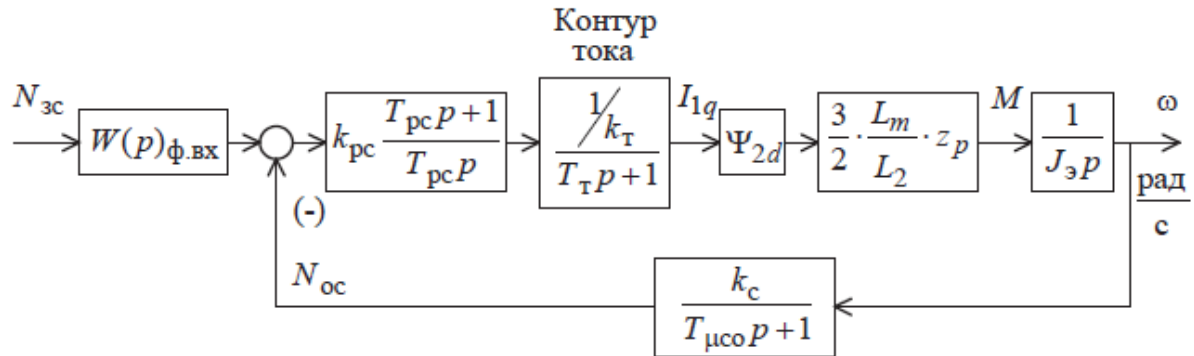


Рисунок 30 – Структурная схема линейризованного контура скорости с ПИ-регулятором

Передаточная функция ПИ-регулятора скорости

$$W(p)_{pc} = k_{pc} \times \frac{T_{pc} \times p + 1}{T_{pc} \times p}$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости:

$$k_{pc} = \frac{J_э \times k_T}{y_{2d} \times \frac{3}{2} \times \frac{L_m}{L_2} \times z_p \times k_c} \times \frac{1}{a_c \times T_{мэ}} = \frac{0,021 \times k_T}{0,858 \times \frac{3}{2} \times \frac{0,141}{0,15} \times 3 \times 0,01} \times \frac{1}{2 \times 4,7 \times 10^{-3}} = 2,706 \frac{1}{\text{рад} / \text{с}}$$

$$T_{pc} = b_c \times a_c \times T_{мэ} = 2 \times 2 \times 4,7 \times 10^{-3} = 0,019 \text{ с},$$

где $T_{мэ} = T_{mn} + T_{mo} = 3,2 \times 10^{-3} + 1,5 \times 10^{-3} = 4,7 \times 10^{-3} \text{ с}$ - эквивалентная малая постоянная контура скорости;

$T_{mn} = T_T = 3,2 \times 10^{-3} \text{ с}$ - малая постоянная времени в прямом канале контура скорости;

$T_{mo} = n_{oc.c} \times T_{II} = 15 \times 10^{-4} = 1,5 \times 10^{-3} \text{ с}$ - малая постоянная времени в цепи обратной связи контура скорости;

$a_c = b_c = 2$ - коэффициент оптимизации контура скорости.

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура скорости:

$s = 8,1\%$ - перерегулирование;

$t_{pyl}^{(5)} = 7 \times (T_{mn} + T_{mo}) = 7 \times 4,7 \times 10^{-3} = 0,033 \text{ с}$ - время первого согласования;

$t_{py2}^{(5)} = 12 \times (T_{mn} + T_{mo}) = 12 \times 4,7 \times 10^{-3} = 0,056 \text{ с}$ - время переходного процесса при обработке ступенчатого управляющего задания;

$$w_n^{(M)} = \frac{0,5}{(T_{mn} + T_{mo})} = \frac{0,5}{4,7 \times 10^{-3}} = 106 \frac{\text{рад}}{\text{с}} - \text{полоса пропускания по модулю.}$$

$$w_n^{(\phi)} = \frac{0,36}{(T_{mn} + T_{mo})} = \frac{0,36}{4,7 \times 10^{-3}} = 77 \frac{\text{рад}}{\text{с}} - \text{полоса пропускания по фазе.}$$

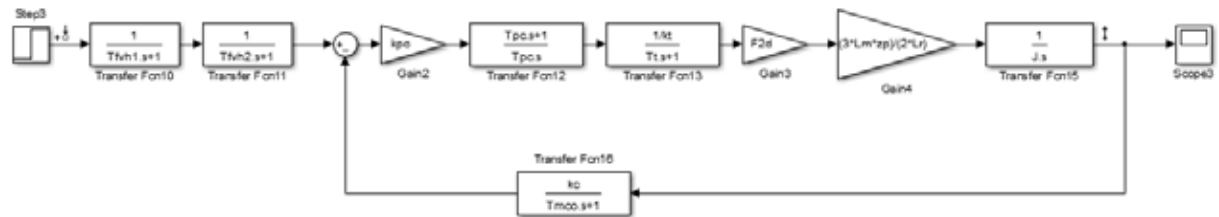


Рисунок 31 – Имитационная модель контура скорости в среде Matlab Simulink

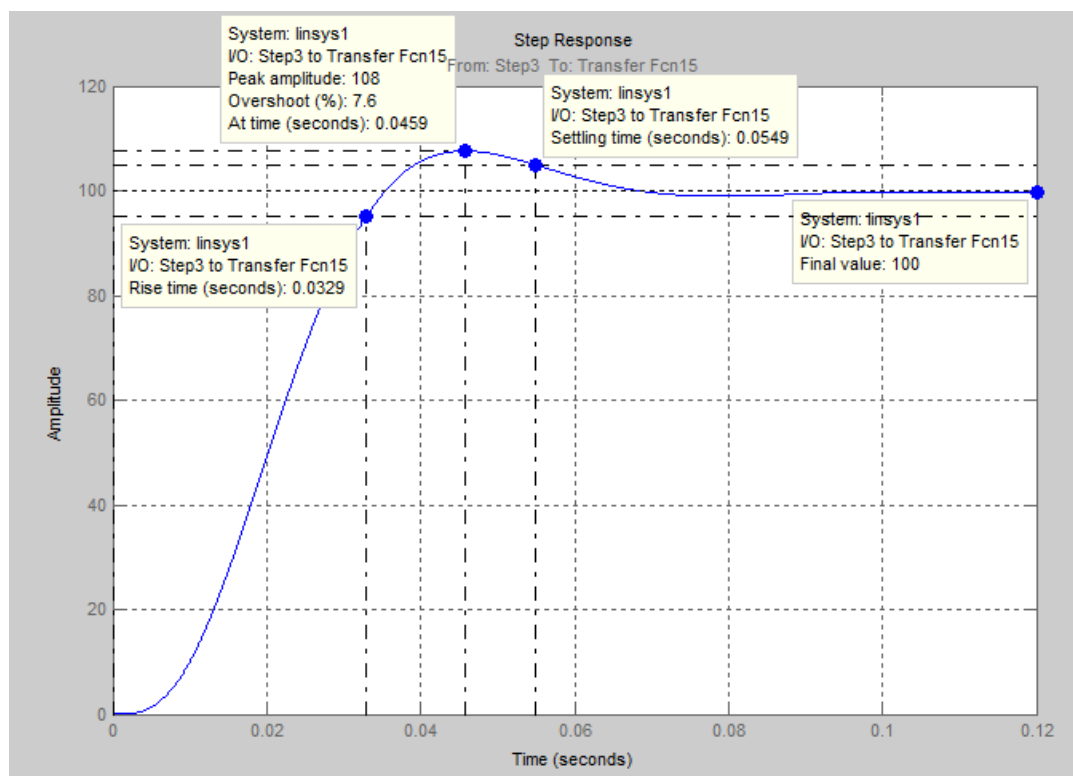


Рисунок 32 – Временная характеристика контура скорости

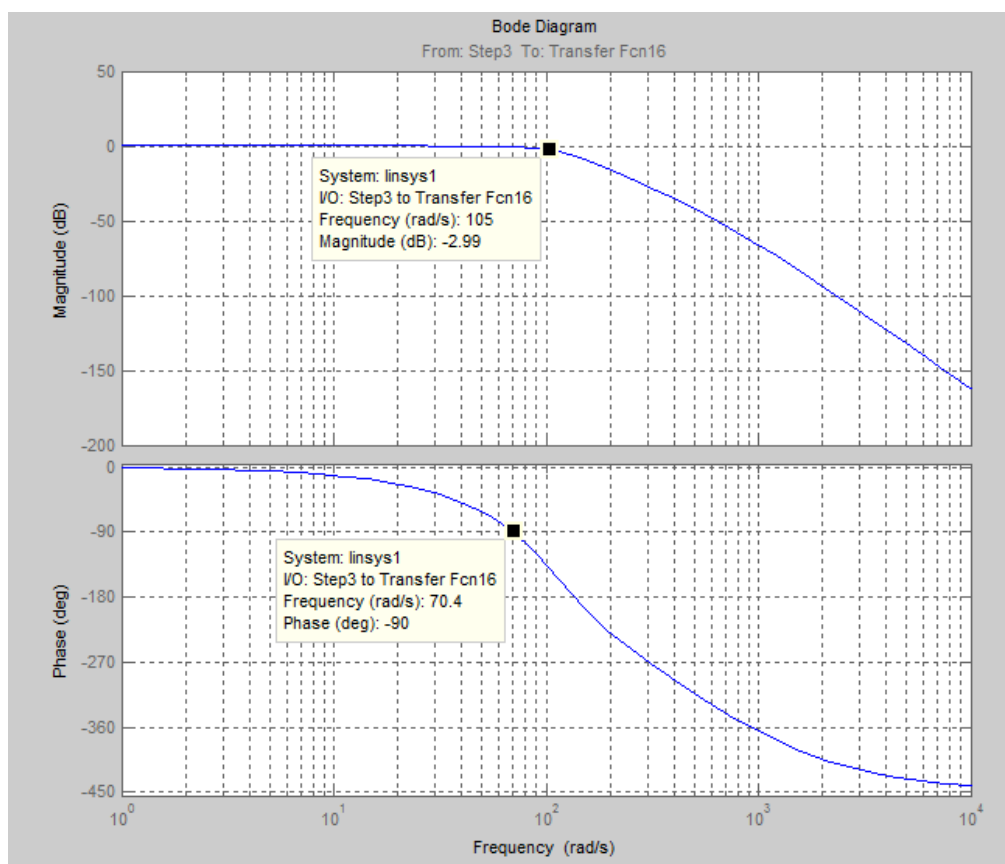


Рисунок 33 – Амплитудно-фазовая частотная характеристика замкнутого контура скорости

Для наглядности сведем результаты моделирования в таблицу.

Таблица 10 – Показатели качества переходного процесса в контуре тока

| $t_{py1}^{(5)}, c$ | $t_{py2}^{(5)}, c$ | $s, \%$ | $Dw_{\Pi}^{(M)}, рад / c$ | $Dw_{\Pi}^{(M)}, рад / c$ |
|--------------------------|--------------------|---------|---------------------------|---------------------------|
| Ожидаемые показатели | | | | |
| 0,033 | 0,056 | 8,1 | 106 | 77 |
| Результаты моделирования | | | | |
| 0,0329 | 0,0549 | 7,6 | 105 | 70 |

Анализ полученных результатов моделирования показывает, что они согласуются с ожидаемыми показателями работы контура.

4.6.4. Обработка контуром скорости возмущающих воздействий

Структурная схема контура скорости с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором, при обработке возмущающего воздействия приведена на рисунке 34 [11].

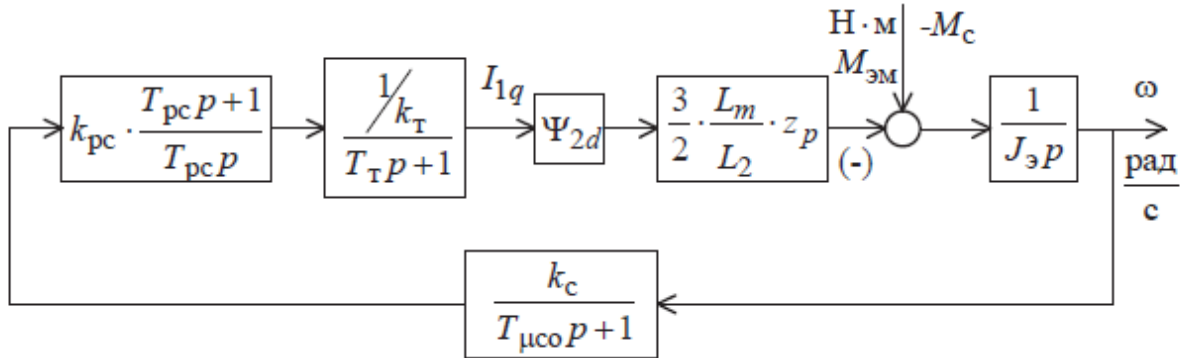


Рисунок 34 – Структурная схема линейризованного контура скорости с ПИ-регулятором при обработке возмущающего воздействия

Ожидаемые показатели качества работы контура скорости при обработке ступенчатого возмущающего воздействия

$$DM_c = 0,5 \times (M_{\text{макс}} - M_{\text{мин}}) = 0,5 \times (43,124 - 40,64) = 1,243 \text{ Н} \cdot \text{м} :$$

$$DW_{\text{в.ст}} = 0 \frac{\text{рад}}{\text{с}} - \text{установившаяся ошибка по возмущению};$$

$$DW_{\text{в.макс}} = \frac{1,75 \times (T_T + T_{\text{мо}})}{J_\gamma} \times DM_c = \frac{1,75 \times (3,2 \times 10^{-3} + 1,5 \times 10^{-3})}{0,021} \times 0,487 = \frac{\text{рад}}{\text{с}} - \text{динамический}$$

провал скорости при набросе нагрузки DM_c ;

$$t_{\text{ps}} = 12,5 \times T_{\text{мс}} = 12,5 \times 4,7 \times 10^{-3} = 0,059 \text{ с} - \text{время отработки возмущающего воздействия.}$$

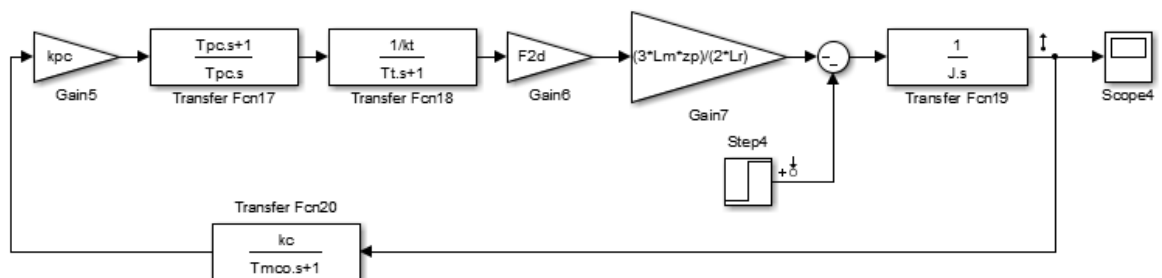


Рисунок 35 – Имитационная модель контура скорости при обработке возмущающего воздействия в среде Matlab Simulink

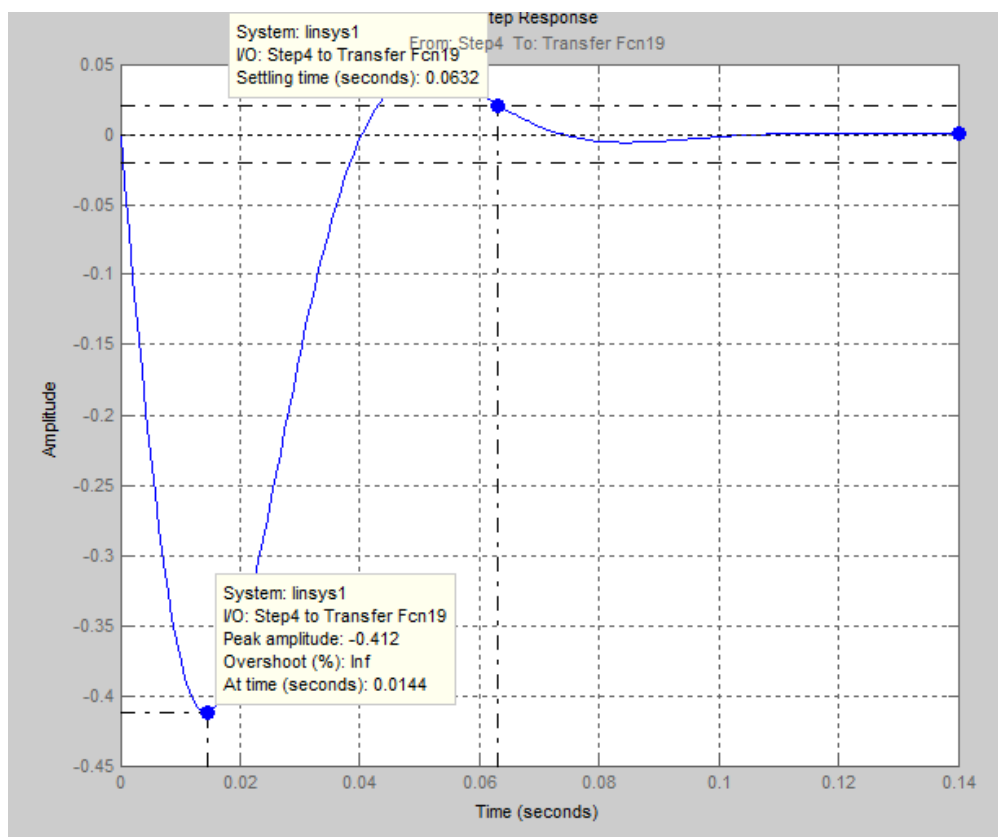


Рисунок 36 – Переходные характеристики контура скорости при отработке возмущающего воздействия

Для наглядности сведем результаты моделирования в таблицу.

Таблица 11 – Показатели переходных процессов по возмущению контура скорости с ПИ-регулятором при $DM_c = 1,243 \text{ Н} \times \text{м}$

| $Dw_{в.макс}, \frac{рад}{с}$ | $Dw_{в.ст}, \frac{рад}{с}$ | $t_{pв}, с$ |
|------------------------------|----------------------------|-------------|
| Ожидаемые показатели | | |
| 0,487 | 0 | 0,059 |
| Результаты моделирования | | |
| 0,412 | 0 | 0,0632 |

Анализ полученных результатов моделирования показывает, что они согласуются с ожидаемыми показателями работы контура при отработке ступенчатого возмущающего воздействия.

4.7 Имитационное исследование САУ регулируемого электропривода с точной моделью двигателя

Далее по структурной схеме, представленной на рисунке 37 [11], собираем имитационную модель линеаризованного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат с ориентацией по вектору потокосцеплений ротора.

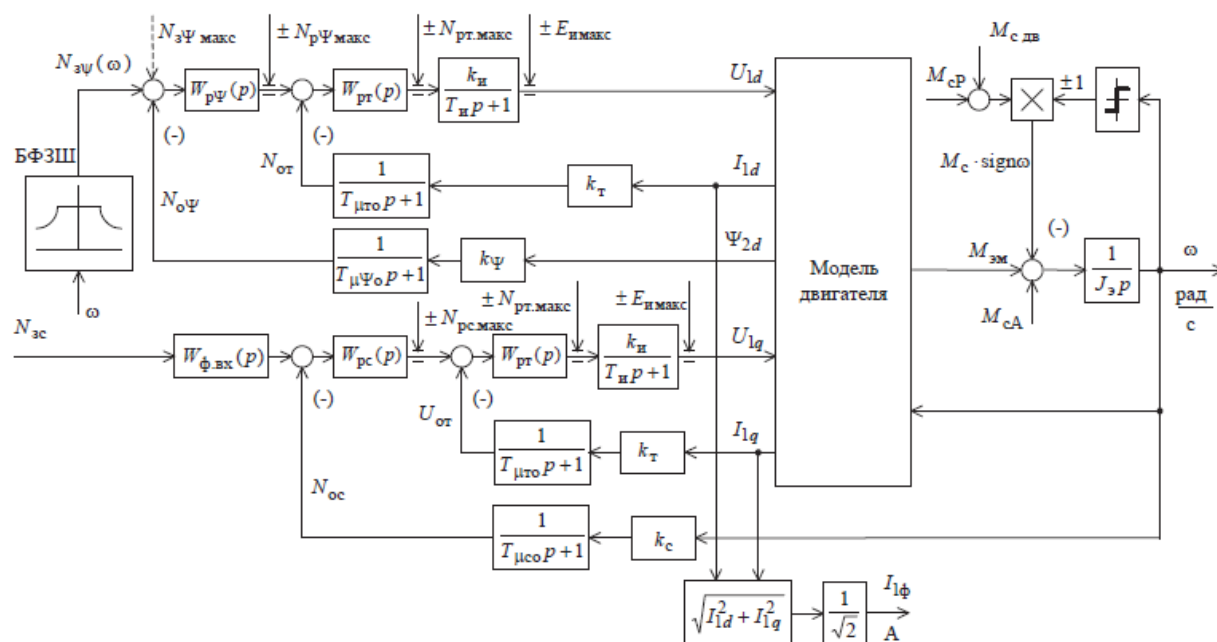


Рисунок 37 – Структурная схема нелинейной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении

На основании данной структурной схемы собираем имитационную модель в среде Matlab Simulink рисунок 38.

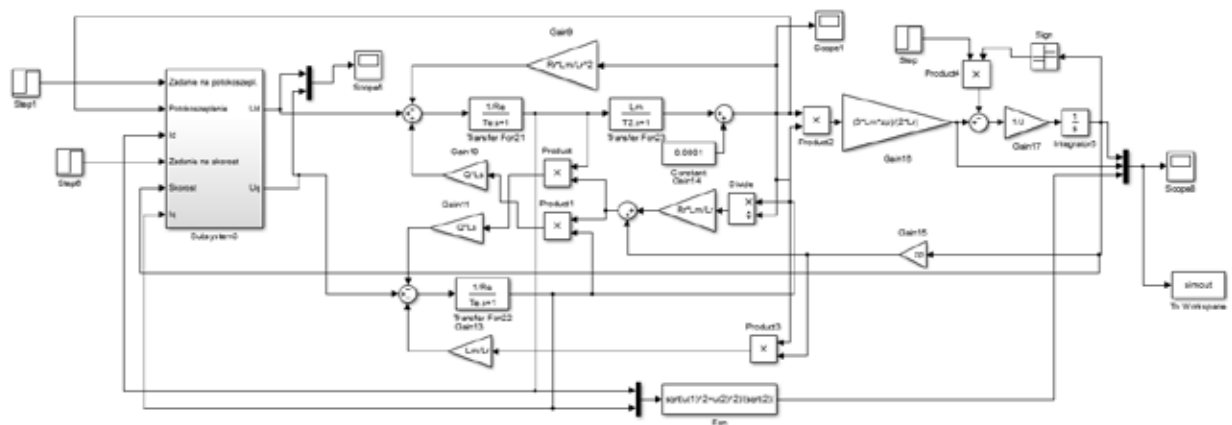


Рисунок 38 - Имитационная модель линейризованной система ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат с ориентацией по вектору потокосцепления ротора

Графики переходных процессов потокосцепления и скорости линейризованного асинхронного ЭП с векторным управление на базе модели АД в неподвижной системе координат представлены на рисунках 39 и 40 соответственно.

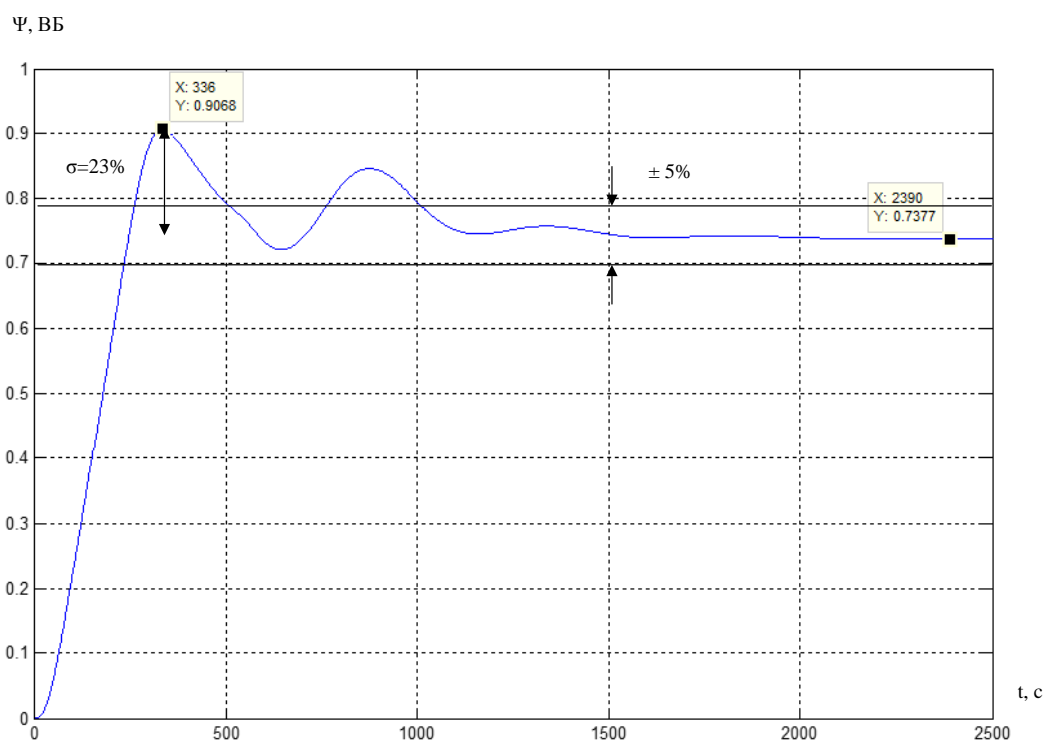


Рисунок 39 – Переходной процесс потокосцепления линейризованного асинхронного ЭП с векторным управление на базе модели АД во вращающейся системе координат

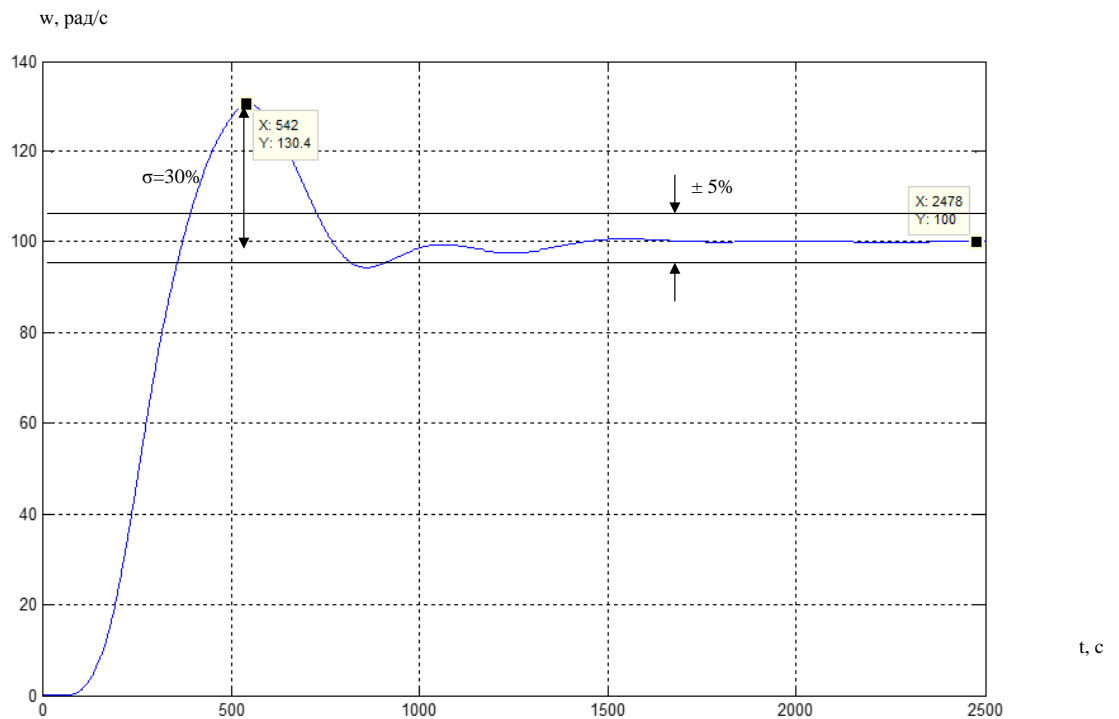


Рисунок 40 – Переходной процесс скорости линейризованного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат

После исследования линейризованного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат и неподвижной произведём исследование нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД в стационарной системе координат. Для того чтобы система стала нелинейной необходимо введения ограничений на выходе регуляторов.

- ограничение максимальной амплитуды напряжения, подводимого к обмоткам АД;
- ограничение токов, протекающих в обмотках статора АД;
- ограничение момента, развиваемого на валу АД.

Для организации качественного управления приводом при различных режимах работы необходима динамическая регулировка моментного усилия развиваемого на валу приводного двигателя. Только в этом случае будет возможна оптимальная настройка для точных режимов работы электропривода.

$$\sqrt{U_x^2 + U_y^2} \leq U_{\text{MAX}}$$

U_x - формирование магнитного потока в АД;

U_y - формирование момента на валу АД.

$$U_x \gg 0.312 U_{MAX}$$

$$U_y \gg 0.95 U_{MAX}$$

Рекомендации для задания уровня ограничений на выходе регуляторов тока.

$$\sqrt{I_x^2 + I_y^2} \leq I_{MAX}$$

I_x - намагничивающая часть составляющей тока статора АД;

I_y - эта составляющая пропорциональна моментному усилию, развиваемому на валу АД;

I_{MAX} - максимальный ток статора АД, кратковременно допускаем перегрузки до $2 \dots 3 I_{ном}$;

$I_{x MAX}$ - ограничение намагничивающей составляющей тока статора АД, $1.5 \dots 2 I_{ном}$;

$I_{y MAX}$ - определяет максимальный момент, развиваемый на валу АД, $2 \dots 3 I_{ном}$.

Недостатки

Введение ограничений на выходе регуляторов приводит к изменению характера переходных процессов, полученных ранее при оптимизации.

Для приведения картины переходных процессов к удовлетворительному виду требуются дополнительные изменения структурной схемы системы управления.

Применение ПИД-регуляторов с возможностью коррекции интегрального насыщения.

Установка задатчиков интенсивности во входных управляющих каналах для формирования плавного изменения заданий по скорости и потокосцеплению.

Интегральное насыщение возникает, когда ПИ или ПИД-регулятор в течение длительного времени должен компенсировать ошибку, лежащую за пределами диапазона управляемой переменной.

Последствия: перерегулирование, колебательность, затягивание времени ПП

Поскольку выход регулятора ограничен, ошибку крайне сложно свести к нулю.

В данном проекте для коррекции интегральной составляющей в ПИ-регуляторы вводим обратную связь по насыщению. Структурная схема такого регулятора приведена на рисунке 45.

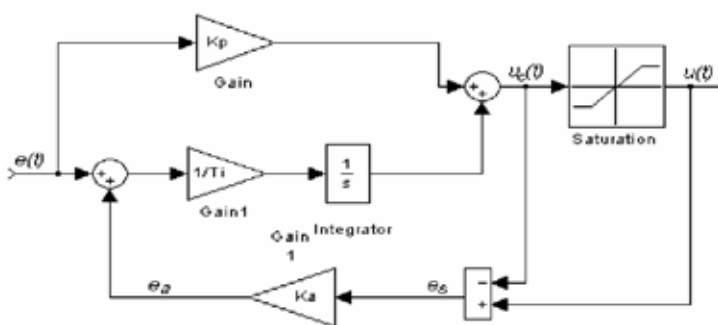


Рисунок 41 – ПИ-регулятор с обратной связью по насыщению

Также для формирования плавного изменения заданий по скорости и потокосцеплению были установлены задатчики интенсивности. Применение задатчиков интенсивности во входных управляющих каналах позволяет уменьшить влияние нелинейностей, присутствующих в системе. Кроме интенсивности изменения сигнала, задержка на формирование задания в канале скорости позволяет рациональнее использовать ресурс источника и уменьшить влияние нелинейностей.

С учетом всех ограничений на выходах регуляторов и коррекции интегрального насыщения в ПИ-регуляторах, а также задатчиков интенсивности во входных управляющих каналах собираем имитационную

модель нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД в стационарной системе координат.

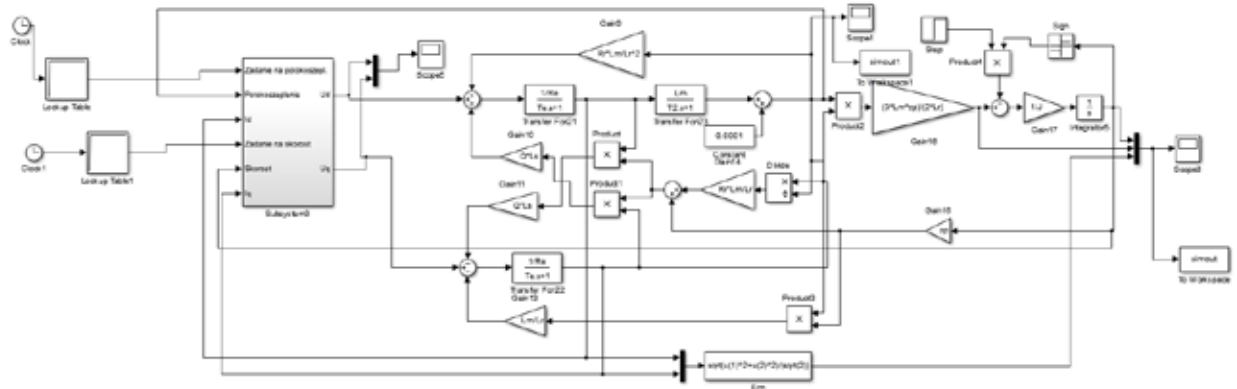


Рисунок 42 - Имитационная модель нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат

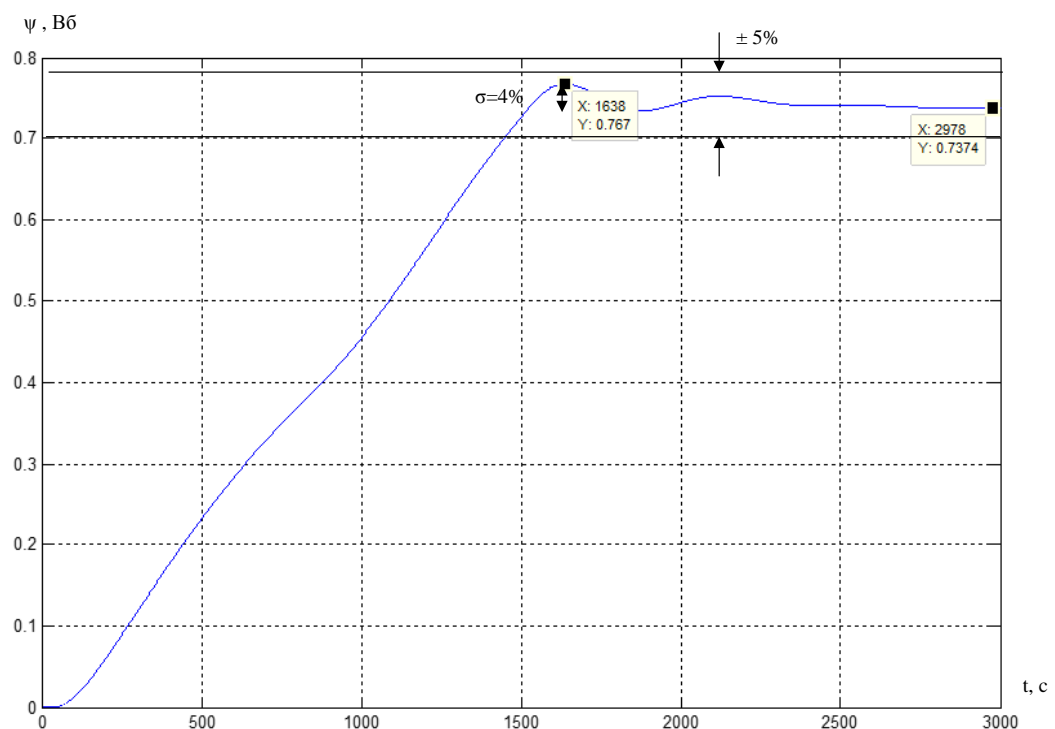


Рисунок 43 – Переходной процесс потокосцепления нелинейного асинхронного ЭП с векторным управление на базе модели АД во вращающейся системе координат

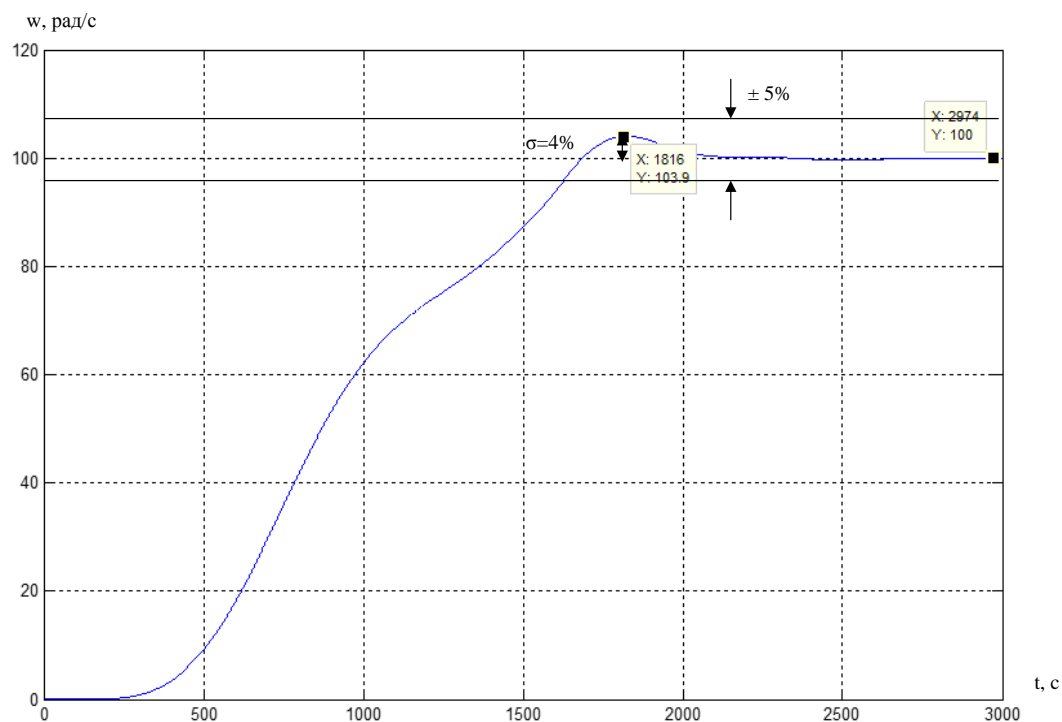


Рисунок 44 – Переходной процесс скорости нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат

Из результатов моделирования видно, что перерегулирование потокоцепления уменьшилось с 23 % до 4%, а скорости с 30% до 4%. Но увеличилось время установившегося режима.

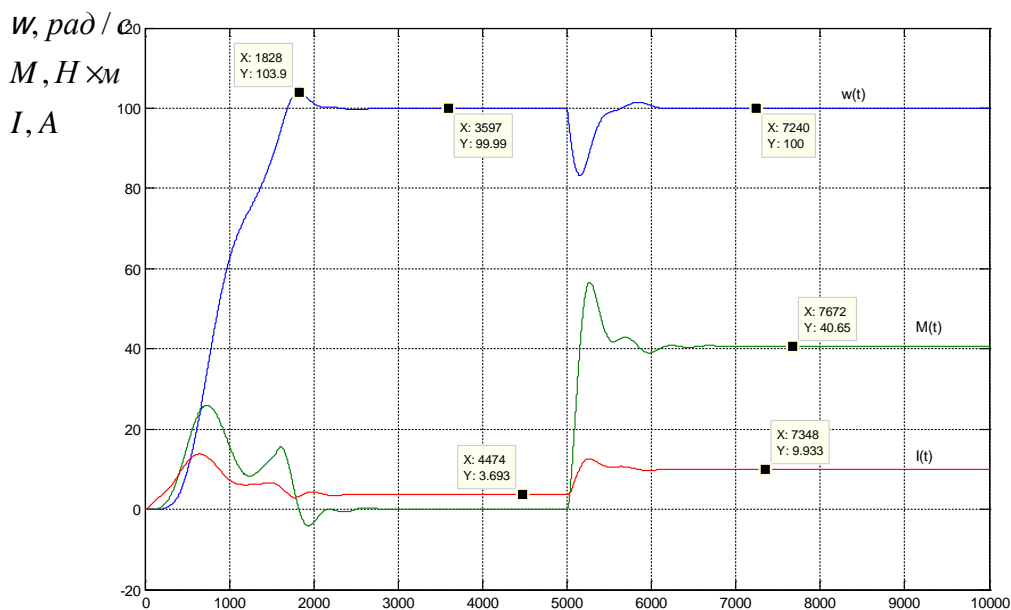


Рисунок 45 – График переходных процессов тока, скорости и момента нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат

На рисунке 45 представлены графики переходных процессов тока и момента нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД в стационарной системе координат. Как видно из графика момент выходит на свое номинальное значение без ошибки. Амплитудное значение тока немного больше своего номинального значения ($9,9 > 9,6$). Как видно из графика переходного процесса привод в нелинейной системе отрабатывает задание на скорости с нулевой ошибкой без нагрузки и под нагрузкой.

4.8 Математическое описание механической части лифта

При соблюдении условий отсутствия буксования расчетная динамическая модель лифта имеет вид крутильной системы, приведенной к валу двигателя (рисунок 46) [4].

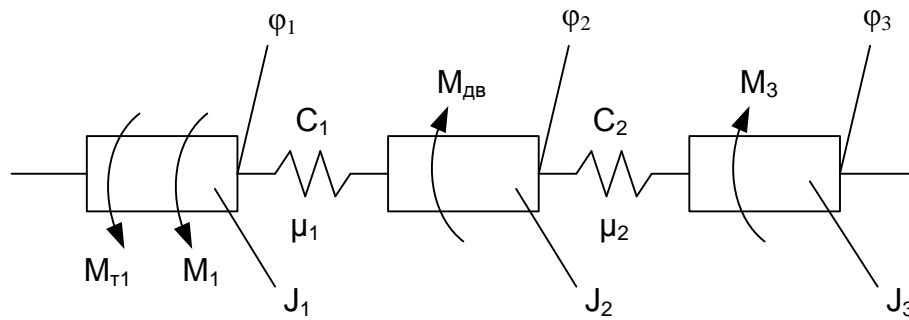


Рисунок 46 – Динамическая модель лифта

Уравнения движения тел системы:

$$\ddot{\varphi}_1 = (C_1 \dot{\varphi}_2 - C_1 \dot{\varphi}_1 + m_1 \ddot{\varphi}_2 - m_1 \ddot{\varphi}_1 - M_1 - M_{T1}) / J_1;$$

$$\ddot{\varphi}_2 = (C_1 \dot{\varphi}_1 - C_1 \dot{\varphi}_2 - C_2 \dot{\varphi}_2 + C_2 \dot{\varphi}_3 + m_1 \ddot{\varphi}_1 - m_1 \ddot{\varphi}_2 - m_2 \ddot{\varphi}_2 + m_2 \ddot{\varphi}_3 + M_{дв}) / J_2;$$

$$\ddot{\varphi}_3 = (C_2 \dot{\varphi}_2 - C_2 \dot{\varphi}_3 + m_2 \ddot{\varphi}_2 - m_2 \ddot{\varphi}_3 + M_3) / J_3;$$

где J_1, J_2, J_3 – моменты инерции кабины и груза, лебедки, противовеса, приведенных к валу двигателя;

C_1, C_2 – жесткость канатов подвески кабины и противовеса, приведенных к крутильной на валу двигателя;

μ_1, μ_2 – коэффициенты демпфирования колебаний в подвесках кабины и противовеса;

$M_{T1}, M_1, M_{дв}, M_3$ – крутящие моменты от силы трения кабины с грузом о направляющие, веса кабины и груза, двигателя и веса противовеса;

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – углы поворота кабины, ротора двигателя и противовеса.

Параметры системы:

$$J_1 = \frac{(m_k + m_g) \times R_{ш}^2}{u_p^2} = \frac{(800 + 400) \times 0,16^2}{18,5^2} = 0,09 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad - \quad \text{момент инерции}$$

кабины и груза, приведенный к валу двигателя;

$$J_3 = \frac{m_{пр} \times R_{ш}^2}{u_p^2} = \frac{1000 \times 0,16^2}{18,5^2} = 0,075 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad - \quad \text{момент инерции противовеса,}$$

приведенный к валу двигателя;

$$J_p = 0,021 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad - \quad \text{момент инерции ротора двигателя;}$$

$$J_m = 0,076 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad - \quad \text{момент инерции муфты с тормозным шкивом;}$$

$$J_{max} = 0,439 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad - \quad \text{момент инерции маховика;}$$

$\delta=1,15$ – коэффициент, учитывающий моменты инерции вращающихся масс редуктора и шкивов;

$J_2 = (J_p + J_m) \times d + J_{\max} = (0,021 + 0,076) \times 1,15 + 0,439 = 0,551 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент инерции лебедки, приведенный к валу двигателя;

$C_2 = \frac{k_{л.пр} \times R_{ш}^2}{u_p^2}$ – жесткость канатов и пружин подвески противовеса,

приведенная к крутильной на валу двигателя, определяется для двух положений кабины на 12-ом и на 1-ом этажах: $C_2=26,93 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$, $C_2=19,457 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$; при этом линейная жесткость пружин подвески противовеса $k_{пр}=n_{пр} \cdot k'_{пр}=292890 \text{ Н/м}$, линейная жесткость канатов подвески противовеса

$k_k = \frac{n_k \times F_k \times E_k}{l_k} = 3,31 \times 10^6 \text{ Н/м}$, $k_k = 0,2548 \times 10^6 \text{ Н/м}$, где $n_{пр}=3$ – количество

пружин в подвеске, $k'_{пр}=97630 \text{ Н/м}$ – линейная жесткость одной пружины, $l_k=3,3 \text{ м}$ – длина отвеса канатов подвески противовеса, когда кабина находится на 1-ом этаже, $l_k=48,3 \text{ м}$ – длина отвеса канатов подвески противовеса, когда кабина находится на 12-ом этаже. Линейная жесткость

подвески противовеса $k_{л.пр} = \frac{k_{пр} \times k_k}{k_{пр} + k_k}$; если кабина находится на 1-ом этаже

$k_{л.пр}=0,26 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$, если кабина находится на 12-ом этаже $k_{л.пр}=0,136 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$.

Коэффициенты демпфирования (рассеивания) колебаний в подвесках

кабины $m_1 = \frac{\gamma \times \sqrt{J_1 \times C_1}}{2 \times \rho}$ и $m_2 = \frac{\gamma \times \sqrt{J_3 \times C_2}}{2 \times \rho}$ противовеса, где $\gamma = \frac{\Delta \Pi}{\Pi} = 2 \times \lambda_n \times \frac{a_i}{a_{i+1}}$ –

относительное рассеивание энергии колебаний; $\Delta \Pi$ – энергия рассеиваемая системой за один цикл колебаний, Дж; Π – энергия системы, отвечающая амплитуде цикла колебаний, Дж; a_i – амплитуда i -го колебания; a_{i+1} – амплитуда $i+1$ -го колебания.

Коэффициенты определялись для положений кабины на 1-ом и 12-ом этажах соответственно: $\mu_1=0,118 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с/рад}$, $\mu_2=0,115 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с/рад}$, $\mu_1=0,474 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с/рад}$, $\mu_2=0,23 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с/рад}$.

Н.И. Григорьев [9] дает значение ψ для рассеяния энергии в канатах $\psi=0,4\dots0,6$; примем в расчетах $\psi=0,6$.

Силы тяжести кабины, груза, противовеса отнесем к внешним силам, действующим на систему. Силу трения кабины в направляющих, также отнесем к внешним силам. Моменты крутящие, развиваемые двигателем или механическим тормозом отнесем к моментам внешних сил, действующих на систему. Трением в направляющих противовеса пренебрегаем.

Моменты, крутящие приведенные к валу двигателя:

$$M_1 = \frac{(m_k + m_{zp}) \times g \times R_{ш}}{u_p} = 18,5 = 101,812 \text{ Н} \times \text{м} \quad - \text{от веса кабины и груза};$$

$$M_{T1} = \frac{0,07 \times m_{zp} \times g \times R_{ш}}{u_p} = \frac{0,07 \times 400 \times 9,81 \times 0,16}{18,5} = 2,376 \text{ Н} \times \text{м} \quad - \text{от силы трения кабины с}$$

$$\text{грузом о направляющие}; \quad M_3 = \frac{m_{np} \times g \times R_{ш}}{u_p} = \frac{1000 \times 9,81 \times 0,16}{18,5} = 84,843 \text{ Н} \times \text{м} \quad - \text{от веса}$$

противовеса.

Для расчета режимов подъема кабины с грузом примем следующее правило знаков: $\varphi_1 > 0$, $\varphi_2 > 0$, $\varphi_3 > 0$ – соответствуют режиму подъема кабины (соответственно режиму опускания противовеса), $M_{дв} > 0$ – двигательный режим работы привода, $M_{дв} = 0$ – двигатель вращается с синхронной угловой скоростью (или выключен), $M_{дв} < 0$ – генераторный режим работы двигателя. Моменты от веса и сил трения направлены, как показано на рис. 50.

Для численного решения уравнения движения тел системы используется приложение к системе MatLab, пакет Simulink. В качестве примера показана схема, моделирующая уравнение движение тел при пуске (рисунок 47) и графики изменения кинематических и силовых параметров (рисунок 38).

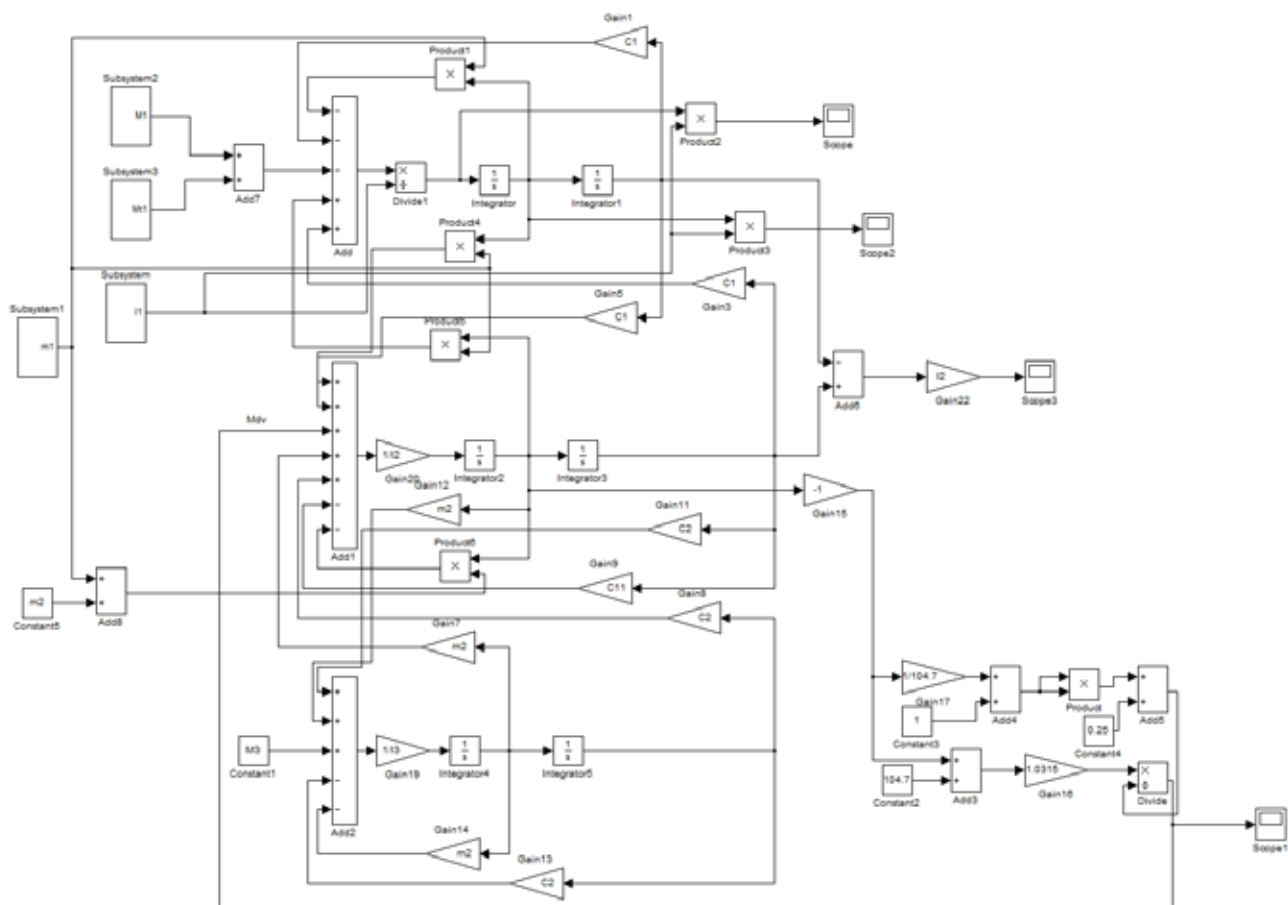


Рисунок 47 – Схема, моделирующая пуск лифта собранная в среде Matlab Simulink

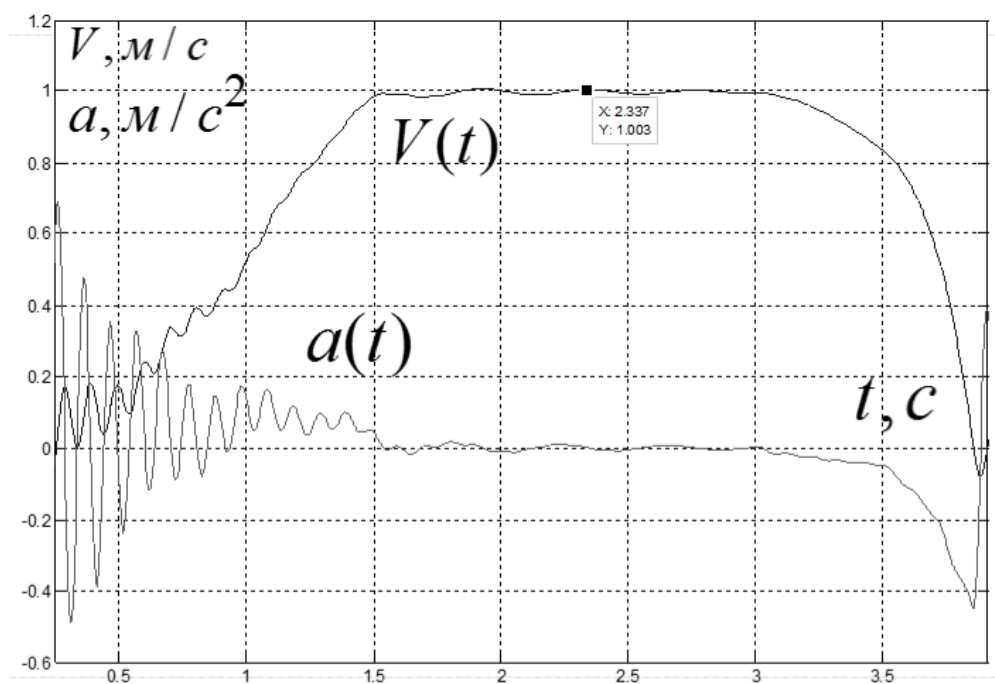


Рисунок 48 – Ускорение и скорость кабины

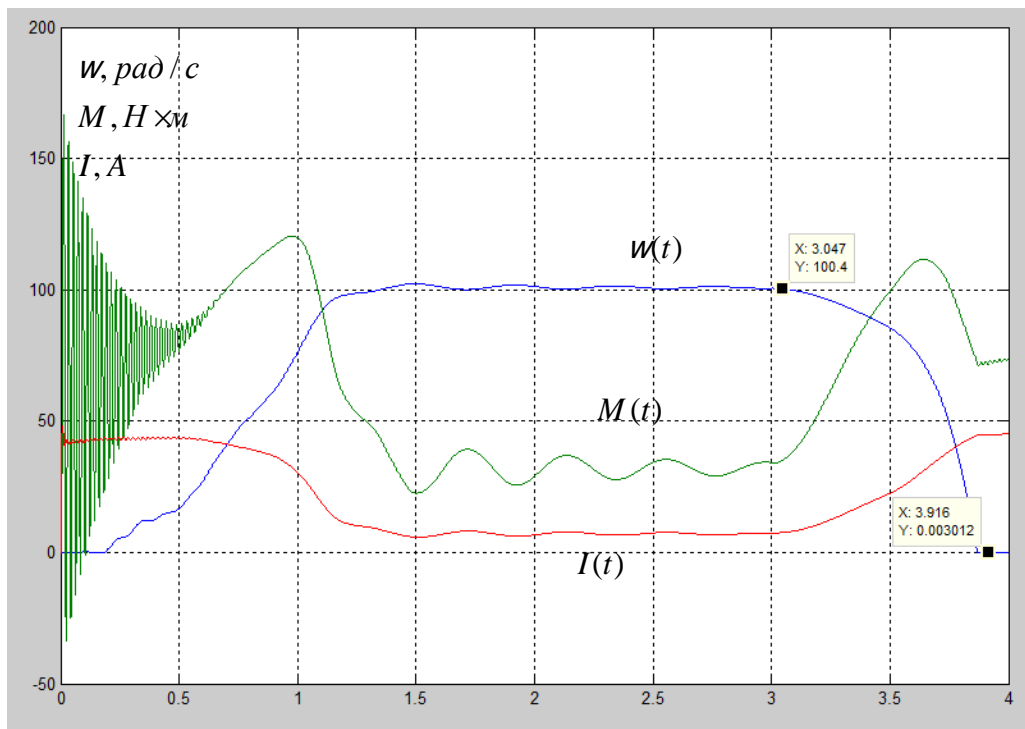


Рисунок 49 – Графики переходного процесса скорости, тока и момента, при моделировании процесса подъема кабины

На рис. 48 представлены переходные процессы ускорения и скорости кабины лифта. Из полученных данных видно, что скорость кабины устанавливается до требуемого значения за 1,5 с. Ускорение кабины не превышает допустимого значения $1,5 \text{ м/с}^2$, что удовлетворяет необходимым требованиям, предъявляемым к пассажирским лифтам, с точки зрения комфорта и безопасности.

4.9 Исследование электропривода лифта

После проверки работоспособности модели нелинейного асинхронного ЭП с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат в номинальном режиме работы, проверим работоспособность электропривода лифта на данной модели нормальных условиях работы.

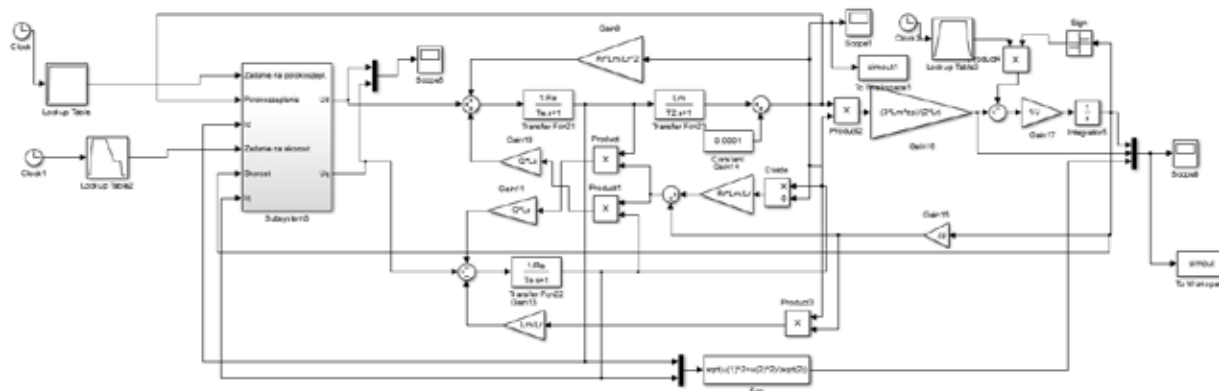


Рисунок 50 - Имитационная модель для исследования, режимов работы электропривода лифта в Matlab Simulink

1. Подъём кабины лифта. Цикл работы: разгон с 0 до требуемой скорости 100 рад/с, работа на требуемой скорости, торможение с требуемой скорости до пониженной 30 рад/с, работа на пониженной, торможение с пониженной до 0.

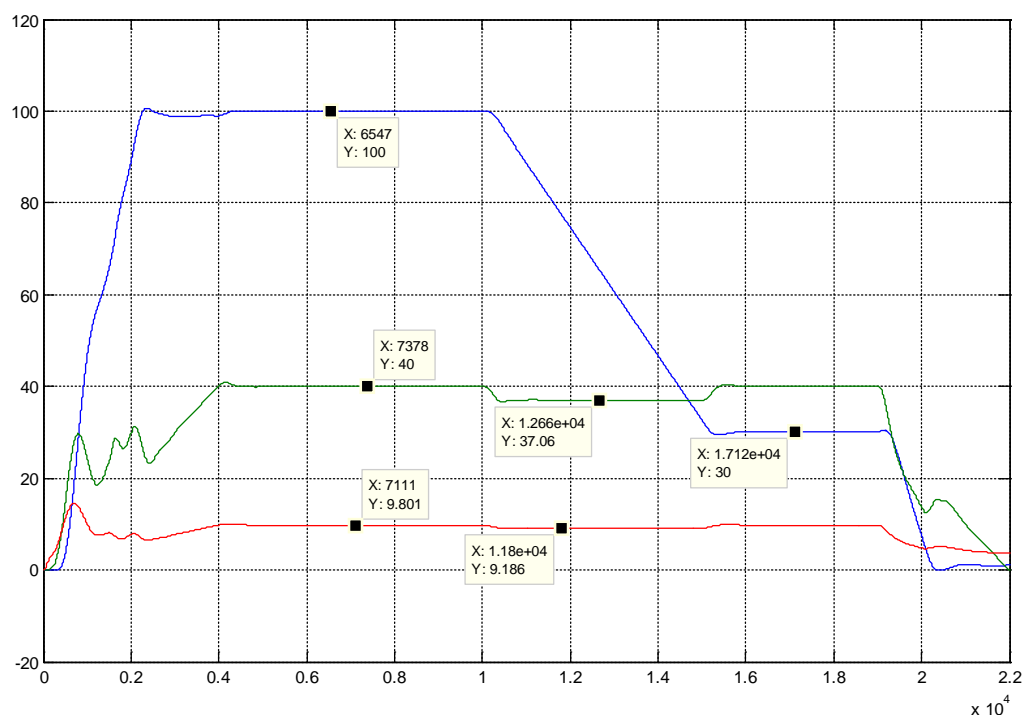


Рисунок 51 – Графики переходного процесса скорости, тока и момента, при моделировании процесса подъема кабины

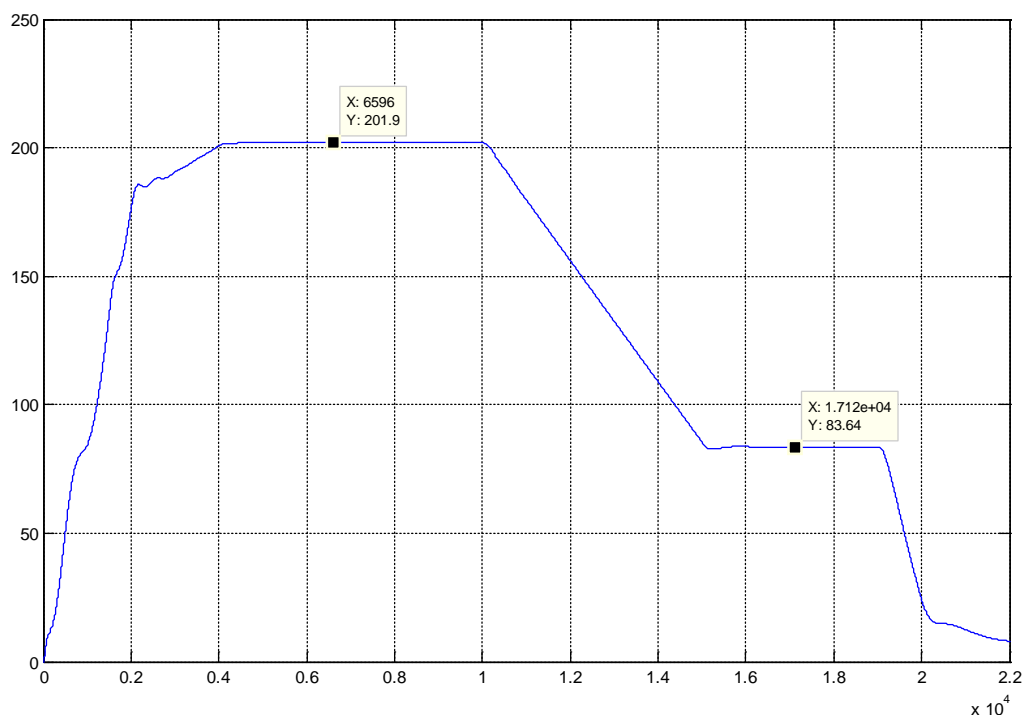


Рисунок 52 - График изменения напряжения на обмотках статора АД, при моделирование процесса подъёма кабины лифта

Как видно из графиков переходного процесса скорости при подъёме кабины лифта отрабатывает задание на скорость с нулевой ошибкой. Из графиков переходного процесса тока видно, что в установившихся режимах амплитудное значение тока практически соответствует номинальному $I_n = 9,8$ А, а в переходных режимах максимальное амплитудное значение тока составляет 9,2 А. По графику изменения напряжения можно сказать, что подводимое напряжение на обмотке статора не превышает действующего значения фазного напряжения и максимальная его величина составляет 201,9 В.

2. Опускание кабины лифта. Цикл работы: разгон с 0 до требуемой скорости -100 рад/с, работа на требуемой скорости, торможение с требуемой скорости до пониженной -30 рад/с, работа на пониженной, торможение с пониженной до 0.

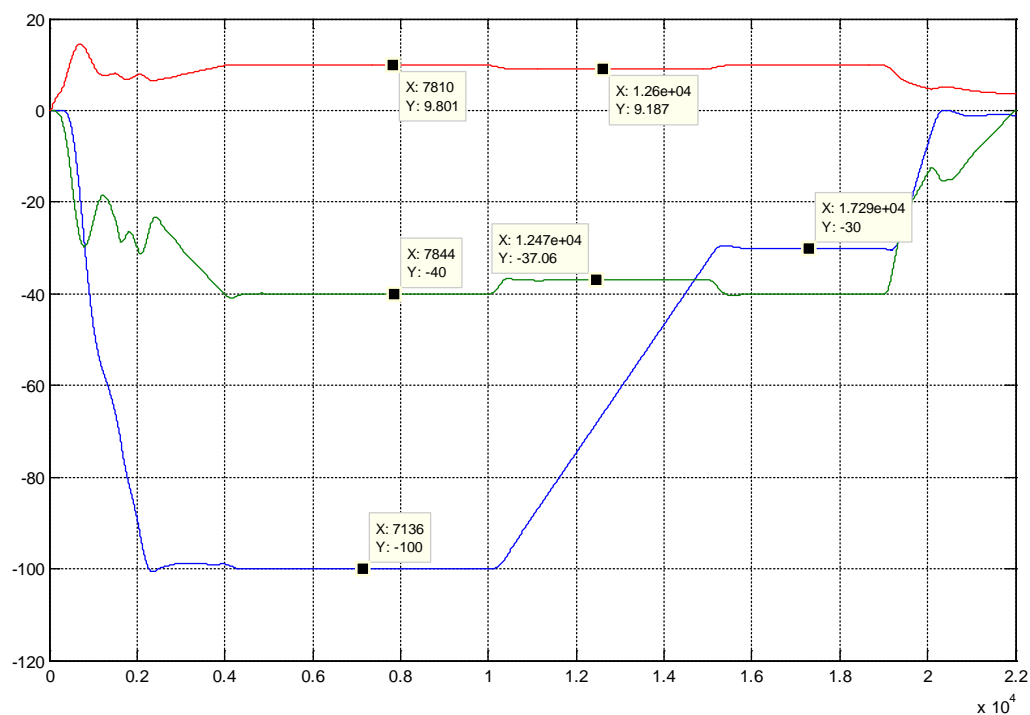


Рисунок 53 – Графики переходного процесса скорости, тока и момента, при моделировании процесса опускания кабины

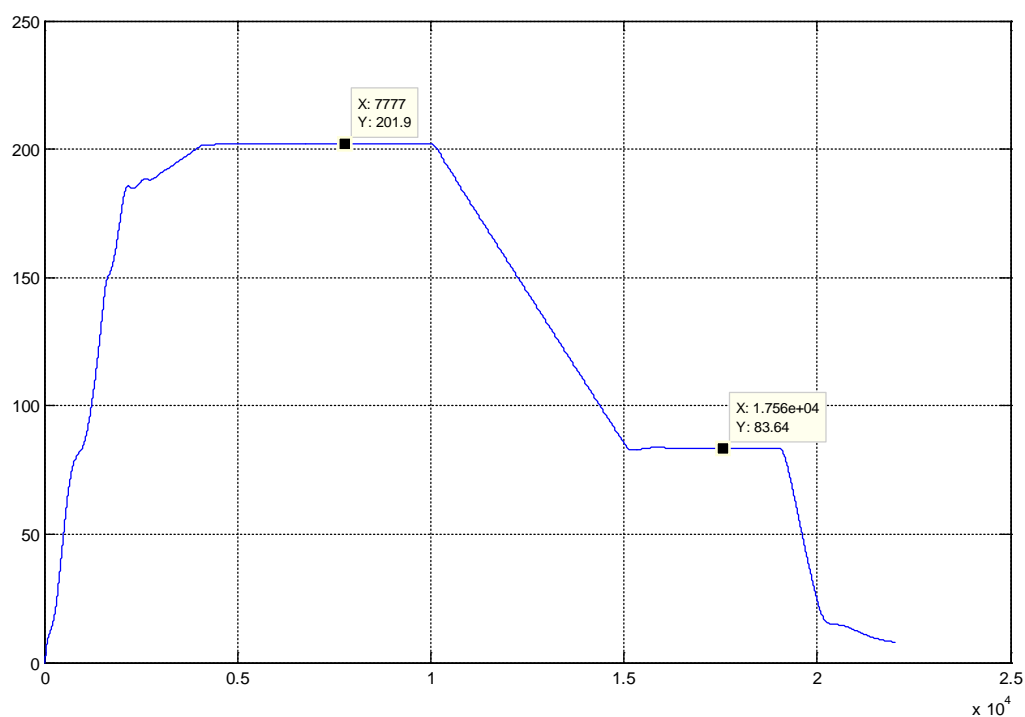


Рисунок 54 - График изменения напряжения на обмотках статора АД, при моделирование процесса опускания кабины лифта

Как видно из графиков переходного процесса скорости при опускании кабины лифта отрабатывает задание на скорость с нулевой ошибкой. Из графиков переходного процесса тока видно, что в установившихся режимах амплитудное значение тока практически соответствует номинальному $I_n = 9,8$ А, а в переходных режимах максимальное амплитудное значение тока составляет 9,2 А. По графику изменения напряжения можно сказать, что подводимое напряжение на обмотке статора не превышает действующего значения фазного напряжения и максимальная его величина составляет 201,9 В.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

| Группа | ФИО |
|---------|-------------------------|
| 3-5Г4Б2 | Сон Виктор Владимирович |

| Школа | Инженерная школа энергетики | Отделение | ОЭЭ |
|---------------------|--------------------------------|---------------------------|---|
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника |

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| | |
|---|--|
| 1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): материально-технических, энергетических, финансовых и информационных | "Положению об оплате труда ТПУ". Приказ 25.05.2016 №5994 |
| 2. Продолжительность выполнения ТП | По <i>приблизительной</i> оценке, продолжительность ТП составляет 100 рабочих дня. |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|---|
| 1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта (ТП) с позиций ресурсоэффективности | Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа, а ресурсоэффективность ТП с помощью интегральной оценки ресурсоэффективности. |
| 2. Планирование графика работ по реализации ТП | При использовании графика работ по реализации ТП используется оценка трудоёмкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным составляется ленточная диаграмма Ганта. |
| 3. Составление сметы ТП | При составлении сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям; - материальные затраты - полная заработная плата исполнителей - отчисления во внебюджетные страховые фонды - накладные расходы |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

| |
|--------------------|
| 1. Диаграмма Ганта |
|--------------------|

| | |
|--|-----------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 22.02.19. |
|--|-----------|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--|-----------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент, отделение социально- гуманитарных наук | Мелик-Гайказян Мария Вигеновна | к.э.н., доцент | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---------|-------------------------|---------|------|
| 3-5Г4Б2 | Сон Виктор Владимирович | | |

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы является подтверждение целесообразности разработки технического проекта, отвечающего всем нынешним требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- составление SWOT-анализа работы площадки сбора руды на АГМК (Алмалыкский горно-металлургический комбинат);
- планирование технико-конструкторских работ;
- определение ресурсной эффективности проекта.

5.1 SWOT-анализ частотно – регулируемого электропривода лифта

SWOT – представляет собой комплексный анализ проекта. SWOT анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, которые помогают оценить возможности, угрозы сильных и слабых сторон.[20]

Для того что бы найти сильные и слабые стороны проведем SWOT–анализ. Он проводится в несколько этапов.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл– слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 12.

Таблица 12 – Составление предварительной матрицы SWOT

| | | |
|--|---|---|
| | Сильные стороны проекта С1: Низкая цена элементов схемы С2: Высокая надёжность электроснабжения потребителей С3: Высокая эргономичность С4: Низкая материалоемкость С5: Высокая ремонтпригодность | Слабые стороны проекта Сл1. Надежность электроснабжения Сл2. Доступность токоведущих частей Сл3: Низкая безопасность Сл4: Низкая энергоэффективность |
| Возможности В1: Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя. В2: Повышение износостойкости элементов деталей электропривода В3: Резервное питание электропривода В4: Повышение стоимости конкурентных разработок. | В1С1; С3; С5; В2С1; В3С1; В4С1; | В1Сл1; Сл2; Сл3; В4Сл3; Сл4; |
| Угрозы У1: Развитая конкуренция технологии производства У2: Риск несвоевременной поставки оборудования У3: Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции по энергетическому и экологическому надзору. У4: Снижение спроса | У1С1 У2С1; С4; | У3Сл3; Сл4; У4Сл2; Сл3; Сл4; |

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие).

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 13 и 14, показывает, что сильных сторон у проекта значительно больше, чем слабых. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 13 – Интерактивная матрица возможностей

| Возможности | Сильные стороны проекта | | | | |
|-------------|-------------------------|-----|-----|-----|----|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
| B1 | + | - | + | - | + |
| B2 | + | - | - | - | - |
| B3 | + | - | - | - | - |
| B4 | + | - | - | - | - |
| Возможности | Слабые стороны проекта | | | | |
| | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 | - |
| B1 | + | + | + | - | |
| B2 | - | - | - | - | |
| B3 | - | - | - | - | |
| B4 | - | - | + | + | |

Таблица 14 – Интерактивная матрица угроз

| Угрозы | Сильные стороны проекта | | | | |
|--------|-------------------------|-----|-----|-----|----|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
| У1 | + | - | - | - | - |
| У2 | + | - | - | + | - |
| У3 | - | - | - | - | - |
| У4 | - | - | - | - | - |
| Угрозы | Слабые стороны проекта | | | | |
| | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 | - |
| У1 | - | - | - | - | |
| У2 | - | - | - | - | |
| У3 | - | - | + | + | |
| У4 | - | + | + | + | |

В результате проведения SWOT – анализа были рассмотрены сильные и слабые стороны технического проекта:

- Риск снижения спроса – одна из основных угроз проекта, которая коррелирует со всеми его слабыми сторонами;
- Слабые стороны ликвидируемы за счет усовершенствования конструкции схемы;
- Для минимизации угроз необходимо обратить внимание на недостатки данной конфигурации электропривода, а именно доступность токоведущих частей, низкая энергоэффективность и ремонтпригодность;
- Кроме того, необходимо акцентировать внимание на сильные стороны проекта, такие как экономичность, надёжность и эргономика;
- Частотно – регулируемый электропривод – одно из наиболее весомых технических решений, относящихся к возможностям проекта, т.к. оно взаимосвязано с большинством сильных сторон;
- За счёт модификации схемы, а именно использования такого способа управления электроприводом, как частотно регулируемый, можно скомпенсировать такие слабости, как доступность токоведущих частей и регулирования скорости;

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что частотно-регулируемый электропривод позволит получить наибольшую отдачу от данного проекта. Благодаря прогрессирующим разработкам в области электроэнергетики и электротехники, совершенствованию конструкций аппаратуры и энергоэффективности материалов негативные факторы могут быть минимизированы.

5.2 Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектирования частотно-регулируемого электропривода лифта.

5.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования

В данном разделе, представлен весь перечень этапов и работ, а также дано краткое описание работ, выполненных в ходе технического проектирования.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 15:

№ 1 – Ознакомление с производственной документацией– включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к проекту, составление задания и плана;

№ 2 – Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 –Подготовка данных для ввода в базу комплекса – составление схем замещения, расчет естественных характеристик электродвигателя, расчет параметров схемы замещения;

№ 4 –Отладка базы данных и проведение тестовых расчетов – перепроверка всех введенных значений, формул и схем;

№ 5 –Выбор оборудования – необходимо произвести выбор оборудования из изученных ранее источников. Данная работа формируется из приводного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, частотного преобразователя;

№ 6 – Расчёт и проверка модели АД – построение естественных механических и электромеханических характеристик в среде MATLAB при холостом пуске и пуске с нагрузкой;

№ 7 – Расчёт и проверка модели АД-ПЧ – расчет статических характеристик системы преобразователь-двигатель, расчет и построение механических и электромеханических характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты в среде MATLAB;

№ 8 –Оценка эффективности полученных результатов – проверка соответствия выполненного проекта исходным требованиям с учетом ресурсо- и энергоэффективности;

№ 9 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности.

№ 10 – Проверка выпускной квалификационной работы руководителем - в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником.

№11 –Подготовка к защите ВКР – подготовка презентации, согласование с преподавателем для защиты перед аттестационной государственной комиссией.

Таблица 15 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | № раб | Содержание работ | Должность исполнителя |
|---|-------|--|---------------------------------|
| Разработка технического задания | 1 | Ознакомление с производственной документацией | Научный руководитель |
| Выбор направления технического проектирования завода | 2 | Подбор и изучение материалов по теме | Дипломник |
| Расчеты и проектирование системы электроснабжения площадки сбора руды | 3 | Подготовка данных для ввода в базу комплекса | Дипломник, научный руководитель |
| | 4 | Отладка базы данных и проведение тестовых расчетов | Дипломник, научный руководитель |
| | 5 | Выбор оборудования | Дипломник, научный руководитель |
| | 6 | Расчёт и проверка модели АД | |
| | 7 | Расчёт и проверка модели АД-ПЧ | |
| Обобщение и оценка результатов | 8 | Оценка эффективности полученных результатов | Дипломник, Научный руководитель |
| Оформление отчета по техническому проектированию | 9 | Составление пояснительной записки | Дипломник |
| | 10 | Проверка выпускной квалификационной работы руководителем | Научный Руководитель |
| Сдача выпускной квалификационной работы | 11 | Подготовка к защите ВКР | Дипломник, Научный руководитель |

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников проектирования.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5},$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

5.2.3 Разработка графика проведения технического проекта

В рамках планирования технического проекта необходимо построить ленточный график проекта.

Диаграмма Ганта – представляет собой ленточную диаграмму, которая имеет две шкалы: шкала выполняемых задач и временная шкала. В соответствии со сроком, отведенным по проекту каждой задаче, он откладывается на временной шкале.

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 16 строим план-график проведения работа (таблица 17)

Продолжительность выполнения технического проекта заняла 12 декад, начиная со второй декады февраля и заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического в календарных днях заняла 100 дней. Из них:

100 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;

10 дней – продолжительность выполнения работ научный руководителя;

Таблица 16 – Расчёт продолжительность работ чел.-дн.

| № | Название работы | Трудоёмкость работ, чел-дни | | | | | |
|----|--|-----------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|------------------------|-----------|
| | | Минимально возможная трудоемкость | | Максимально возможная трудоемкость | | Ожидаемая трудоемкость | |
| | | Науч. рук-ль | Дипломник | Науч. рук-ль | Дипломник | Науч. рук-ль | Дипломник |
| 1 | Составление и утверждение технического задания | 1 | - | 1 | - | 1 | - |
| 2 | Подбор и изучение материалов по теме | - | 3 | - | 7 | | 5 |
| 3 | Подготовка данных для ввода в базу комплекса | 1 | 19 | 1 | 23 | 1 | 21 |
| 4 | Отладка базы данных и проведение тестовых расчетов | 1 | 17 | 1 | 25 | 1 | 20 |
| 5 | Выбор оборудования | 1 | 14 | 1 | 21 | 1 | 17 |
| 6 | Расчёт и проверка модели АД | 1 | 3 | 1 | 6 | 1 | 4 |
| 7 | Расчёт и проверка модели АД-ПЧ | 1 | 14 | 1 | 18 | 1 | 16 |
| 8 | Оценка эффективности полученных результатов | 1 | 6 | 1 | 8 | 1 | 7 |
| 9 | Составление пояснительной записки | - | 3 | - | 12 | - | 7 |
| 10 | Проверка выпускной квалификационной работы руководителем | 1 | - | 1 | - | 1 | - |
| 11 | Сдача и защита выпускной квалификационной работы | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 |

Таблица 17– Диаграмма Ганта

| № | Вид работ | Исполнители | T_{pi} , раб. дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | |
|----|--|--------------|---------------------------|------------------------------------|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|------|---|
| | | | | Февр. | | Март | | | Апрель | | | Май | | | Июнь | |
| | | | | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 1 | Ознакомление с производственной документацией | Руководитель | 1 | — | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Подбор и изучение материалов по теме | Дипломник | 5 | — | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Подготовка данных для ввода в базу комплекса | Руководитель | 1 | | — | — | | | | | | | | | | |
| | | Дипломник | 21 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Отладка базы данных и проведение тестовых расчетов | Руководитель | 1 | | | | — | — | | | | | | | | |
| | | Дипломник | 20 | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Выбор оборудования | Руководитель | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | Дипломник | 17 | | | | | | — | — | | | | | | |
| 6 | Расчёт и проверка модели АД | Руководитель | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | Дипломник | 4 | | | | | | | | | — | | | | |
| 7 | Расчёт и проверка модели АД-ПЧ | Руководитель | 1 | | | | | | | | | — | — | | | |
| | | Дипломник | 16 | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Оценка эффективности полученных результатов | Руководитель | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | Дипломник | 7 | | | | | | | | | | — | — | | |
| 9 | Составление пояснительной записки | Дипломник | 7 | | | | | | | | | | | | — | |
| 10 | Проверка ВКР руководителем | Руководитель | 1 | | | | | | | | | | | | | — |
| 11 | Подготовка к защите ВКР | Руководитель | 2 | | | | | | | | | | | | | — |
| | | Дипломник | 3 | | | | | | | | | | | | | — |

5.3 Расчёт затрат на осуществление технического проекта

Целью планирования себестоимости проведения технического проекта является экономически обоснованное определение величины затрат на его выполнение. Исходными данными для расчета затрат является план работ и перечень требуемой аппаратуры, оборудования, сырья и материалов.

Затраты на осуществление технического проекта рассчитываются по следующим статьям расходов с последующим суммированием:

- расходы на оплату труда;
- отчисления во внебюджетные страховые фонды;
- расходы на материалы и комплектующие изделия;
- расходы на спецоборудование;
- накладные расходы.

5.3.1 Расчет материальных затрат технического проекта

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m C_i \times N_{расхi}$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении технического проекта;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

К материальным затратам можно отнести: бумага, ручка, корректор, USB-накопитель, блокнот, линейка, мульти фора .

Материальные затраты, необходимые для данной работы, указаны в таблице 18.

Таблица 18 – Материальные затраты

| Наименование | Единица измерения | Количество | Цена за ед., руб. | Затраты на материалы (Зм), руб. |
|----------------|-------------------|------------|-------------------|---------------------------------|
| Бумага | Лист | 150 | 2,5 | 375 |
| Ручка | Шт. | 1 | 60 | 60 |
| USB накопитель | Шт. | 1 | 305 | 305 |
| Линейка | Шт. | 1 | 85 | 85 |
| Мультифора | Шт. | 10 | 2 | 20 |
| Блокнот | Шт. | 1 | 100 | 100 |
| Корректор | Шт. | 1 | 55 | 55 |
| Итого: | | | | 1000 |

5.3.2 Полная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается полная заработная плата научного руководителя и студента, которая рассчитывается по формуле:

$$З_{п} = З_{осн} + З_{доп},$$

где: $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = T_p \times З_{дн},$$

где: $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб. Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m}{D_{мес}},$$

где: $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$D_{\text{мес}}$ – количество рабочих дней, раб. дн.

Таблица 19 – Расчет основной заработной платы

| Исполнители | Оклад | Месячный основной оклад работника руб. | Средняя зарботная плата работника руб. | Продолжитель- ность работ, выполняемых работником раб. дн. | Основная зарботная плата одного работника, руб. |
|--------------|-------|--|---|--|--|
| Руководитель | 33664 | 43763 | 1683 | 10 | 16830 |
| Бакалавр | 12300 | 15990 | 615 | 100 | 61500 |
| Итого Зосн : | | | | | 78300 |

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают оплату при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \times Z_{\text{осн}}$$

где: $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Таблица 20 – Расчет полной заработной платы

| Исполнители | коэффициент дополнительной заработной платы. $k_{\text{доп}}$, руб | Основная зарботная плата одного работника $Z_{\text{осн}}$, руб. | Дополнительная зарботная плата $Z_{\text{доп}}$, руб. | Полная зарботная плата $Z_{\text{п}}$, руб. |
|--------------|--|---|--|---|
| Руководитель | 15% | 16830 | 2525 | 19300 |
| Бакалавр | 12% | 61500 | 7380 | 68900 |
| Итого: | | | | 88200 |

5.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной разделе расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \times (З_{осн} + З_{доп}),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.)

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,302 \times 88,2 = 26,6 \text{ тыс. руб.}$$

5.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: амортизация активам, расходы, связанные с рекламой и т.д. Их величина составляет 16% от общей суммы затрат на проектирование.

5.3.5 Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования сметы затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение сметы затрат на технический проект приведен в таблице 21.

Таблица 21 – Смета затрат технического проекта

| Наименование разделов | Сумма, тыс. руб | Структура затрат, % |
|---|-----------------|---------------------|
| 1. Материальные расходы | 1,0 | 0,7 |
| 2. Затраты по полной заработной плате исполнителей ТП | 88,2 | 64,3 |
| 3. Отчисления во внебюджетные фонды | 26,6 | 19,0 |
| 4. Накладные расходы | 24,2 | 16,0 |
| 5. Итого | 140,0 | 100,0 |

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 100 раб. дней для дипломника и 10 раб. дней для научного руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 140 тыс. руб., из которых более половины (64%) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

5.3.6 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле[20]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к системе электроснабжения промышленных предприятий:

1. Эргономичность: оптимальная условия труда с целью увеличения производительности и сохранения сил, времени, энергии, работоспособность и здоровья человека;
2. Ремонтопригодность: долговечности и увеличения срок эксплуатации электроустановки;
3. Безопасность: обеспечение безопасности работ, как для электротехнического персонала, так и для не электротехнического;
4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии: качество электроэнергии, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 13109-97;

5. Надежность: бесперебойное снабжение электроэнергией в пределах допустимых показателей ее качества и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды;

6. Простота и удобство в эксплуатации: возможность использования персоналом более доступного, автоматизированного и адаптивного по конструкции техническим характеристикам электроборудования на предприятии;

7. Энергоэффективность: использование меньшего количества энергии для обеспечения установленного уровня потребления энергии в зданиях либо при технологических процессах на производстве.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 22.

Таблица 22 - Сравнительная оценка характеристик проекта

| Критерии | Весовой коэффициент | Балльная оценка разработки |
|--|---------------------|----------------------------|
| 1. Эргономичность | 0,13 | 5 |
| 2. Ремонтопригодность | 0,16 | 5 |
| 3. Безопасность | 0,14 | 4 |
| 4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии | 0,18 | 4 |
| 5. Надежность | 0,15 | 5 |
| 6. Простота и удобство в эксплуатации | 0,09 | 4 |
| 7. Энергоэффективность | 0,15 | 5 |
| Итого: | 1,00 | |

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_p = 5 \cdot 0,13 + 5 \cdot 0,16 + 4 \cdot 0,14 + 4 \cdot 0,18 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,09 + 5 \cdot 0,15 = 4,6$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для трех исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| Группа | ФИО |
|---------|-------------------------|
| 3-5Г4Б2 | Сон Виктор Владимирович |

| | | | |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| Школа | Инженерная школа энергетики | Отделение | Электроэнергетика и электротехника |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | Электроэнергетика и электротехника |

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|--|--|
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения | <i>Описание рабочего места оператора частотно-регулируемого электропривода. Рабочая площадка находится в закрытом помещении – Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами. Основное рабочее оборудование – электропривод переменного тока, управляющий лифтом.</i> |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| 1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: | Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. |
| 2. Производственная безопасность | Проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы: - Повышенный уровень шума. - Повышенный уровень вибрации. - Неудовлетворительный микроклимат. - Неудовлетворительное освещение. - Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования. - Поражение электрическим током. |
| 3. Экологическая безопасность: | - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы, утилизация компьютерной техники и периферийных устройств); - решение по обеспечению экологической безопасности. |
| 4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: | -Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; -Выбор наиболее типичной ЧС; -Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; -Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. -Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) |

| | |
|--|--|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | |
|--|--|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------|---------------------------|------------------------|---------|------|
| Ст. преподаватель | Гуляев Милий Всеволодович | | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---------|-------------------------|---------|------|
| 3-5Г4Б2 | Сон Виктор Владимирович | | |

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В данном разделе рассматриваются эксплуатационные характеристики частотно-регулируемого электропривода лифта, установленной в Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ. Анализируются все вредные и опасные фактора, и влияние электропривода на экологию. А также, рассматриваются возможные чрезвычайные ситуации и правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Правовые нормы трудового законодательства

Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере.

Минимальный размер повышения оплаты труда работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, составляет 4 процента тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.

Конкретные размеры повышения оплаты труда устанавливаются работодателем с учетом мнения представительного органа работников в порядке, установленном статьей 372 ТК РФ для принятия локальных нормативных актов, либо коллективным договором, трудовым договором.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

При размещении органов управления необходимо выполнять следующие эргономические требования:

- органы управления должны располагаться в зоне досягаемости моторного поля;
- наиболее важные и часто используемые органы управления должны быть расположены в зоне легкой досягаемости моторного поля;

- органы управления, связанные с определенной последовательностью действий оператора, должны группироваться таким образом, чтобы действия оператора осуществлялись слева направо и сверху вниз;

- расположение функционально идентичных органов управления должно быть единообразным на всех панелях рабочего места;

- расположение органов управления должно обеспечивать равномерность нагрузки обеих рук и ног человека-оператора.

Основные размеры маховиков управления и штурвалов должны соответствовать указанным в табл.23.

Таблица 23 - Основные размеры маховиков управления и штурвалов.

| Способ вращения | Обод | | | | Рукоятка | | | |
|--------------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| | Диаметр наибольший | | Поперечное сечение | | Длина | | Диаметр наибольший | |
| | Предельные значения | Оптимальные значения | Предельные значения | Оптимальные значения | Предельные значения | Оптимальные значения | Предельные значения | Оптимальные значения |
| Двумя руками за обод | 140-1000 | 350-400* | 10-40 | 25-30 | - | - | - | - |
| Одной рукой за обод | 50-140 | 75-80 | 10-25 | 15-20 | - | - | - | - |
| Преимущественно кистью за рукоятку | 150-400 | 250-300 | - | - | 75-150 | 100-120 | 15-35 | 25-30 |
| Преимущественно пальцами за рукоятку | 50-200 | 75-100 | - | - | 30-75 | 40-50 | 10-20 | 15-18 |

Штурвал используемый для управления частотно-регулируемого АД должен отвечать общим эргономическим требованиям.

Плоскость вращения маховика, не имеющего рукоятки, и штурвала должна находиться при вращении двумя руками:

- сидя - перпендикулярно продольной плоскости симметрии сиденья и под углом от 40 до 90° к горизонтали;

- стоя - под углом от 0 до 90° к горизонтали с осью вращения в сагиттальной плоскости тела оператора

Плоскость вращения маховика без рукоятки, вращаемого одной рукой как сидя, так и стоя, должна находиться под углом от 10 до 60° по отношению к предплечью соответственно действующей (правой или левой) руки.

Плоскость вращения маховика, снабженного рукояткой должна находиться по отношению к предплечью соответственно действующей (правой или левой) руки под углом:

от 10 до 90° - при вращении кистью с предплечьем и

от 10 до 45° - при вращении всей рукой.

Интервал между ободами и другими деталями соседних маховиков, расположенных в одной плоскости, должен быть не менее:

50 мм - при вращении одной рукой последовательно или в случайном порядке;

100 мм - при вращении двумя руками одновременно;

130 мм - при работе в рукавицах или перчатках.

6.2 Производственная безопасность

Таблица 24 - Опасные и вредные факторы при эксплуатации трубопроводной арматуры для регулирования расхода газа.

| Источник фактора, наименование видов работ | Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)[1] | | Нормативные документы |
|--|--|--|--|
| | Вредные | Опасные | |
| 1) эксплуатация и ремонт электропривода частотно-регулируемого | 1. Повышенный уровень шума. 2. Повышенный уровень вибрации; 3. Неудовлетворительное освещение. 4. Неудовлетворительный микроклимат. | 1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; 2. Поражение электрическим током. 3. Пожаровзрывоопасность | 1. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. 2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. 3. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. 4. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. 5. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. 6. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. 7. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. 8. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. |

6.2.1 Анализ потенциально возможных опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Повышенный уровень шума.

Источником повышенного уровня шума в частотно-регулируемом электроприводе является электродвигатель и редуктор.

Человеческий организм по-разному реагирует на шум разного уровня. Шумы уровня 70-90 дБ при длительном воздействии приводят к заболеванию нервной системы, а более 100 дБ - к снижению слуха, вплоть до глухоты.

В соответствии с предельно допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест, разработанные с учетом категорий тяжести и напряженности труда, представлены в табл. 25.

Таблица 25 - Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест.

| № пп | Вид трудовой деятельности, рабочее место | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц | | | | | | | | | Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА) |
|------|---|--|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|---|
| | | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий. | 107 | 95 | 87 | 82 | 78 | 75 | 73 | 71 | 69 | 80 |

В соответствии с к коллективным средствам и методам защиты от шума при использовании приводной арматуры можно отнести:

- звукоизолирующие кожухи;
- рациональное размещение технологического оборудования, машин и механизмов;
- рациональное размещение рабочих мест;
- оснащение шумных машин средствами дистанционного управления и автоматического контроля;
- совершенствование технологии ремонта и обслуживания машин;

- использование рациональных режимов труда и отдыха работников на шумных предприятиях.

К средствам индивидуальной защиты относятся:

- противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- противошумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему;
- противошумные шлемы и каски;
- противошумные костюмы.

В Научно-исследовательской лаборатории управления электроприводами ТПУ имеются все вышеперечисленные устройства защиты от повышенного уровня шума.

Повышенный уровень вибрации.

Источниками вибраций являются движение тяжелого (в том числе грузового) автотранспорта, работа оборудования и частотно-регулируемый электропривод.

Длительное воздействие вибрации на организм человека приводит к серьезным последствиям под названием «вибрационная болезнь». Это профессиональная патология, которая возникает в результате длительного влияния на организм человека производственной вибрации, превышающей предельно допустимый уровень

Для санитарного нормирования и контроля используются средние квадратические значения виброускорения или виброскорости, а также их логарифмические уровни в децибелах. Нормы одночисловых показателей вибрационной нагрузки на оператора для длительности смены 8 ч., для общей вибрации категории 3 тип «а», по санитарным нормам значение виброускорения составляет 100 дБ, а для виброскорости – 92 дБ.

К средствам защиты от повышенного уровня вибрации относятся устройства: оградительные, виброизолирующие, виброгасящие и вибропоглощающие, автоматического контроля и сигнализации, дистанционного управления.

В Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ установлены все вышеперечисленные устройства защиты от повышенного уровня вибрации.

Освещение:

В Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ имеется естественное (боковое двухстороннее) и искусственное освещение. Рабочие столы размещены таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Искусственное освещение в помещении осуществляется системой общего равномерного освещения. В Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ, в случаях работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

В качестве источников света применяются светодиодные светильники или металлогалогенные лампы (используются в качестве местного освещения).

В Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ условие труда по световому фактору соответствуют допустимым. КЛ 2.

Микроклимат:

Для создания и автоматического поддержания в Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется

кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ является помещением I б категории. Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.)

Таблица 26 - Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

| Период года | Катег. работ по уровню энергозатрат | Температура воздуха, °С | Температура поверхностей, °С | Относ. влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|-------------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Холодный | Iб | 21-23 | 20-24 | 40-60 | 0,1 |
| Теплый | Iб | 22-24 | 21-25 | 40-60 | 0,1 |

Таблица 27 - Допустимые величины интенсивности теплового облучения

| Облучаемая поверхность тела, % | Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более |
|--------------------------------|---|
| 50 и более | 35 |
| 25-50 | 70 |
| не более 25 | 100 |

В лаборатории проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы.

Согласно специальной оценки условий труда в ТПУ микроклимат Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ, соответствует допустимым нормам.

6.2.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования;
подвижные части производственного оборудования;

Подвижными частями частотно-регулируемого электропривода являются лебедка подвижного элемента и вал электродвигателя.

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства (например, двуручное управление), предотвращающие травмирование.

Если функциональное назначение движущихся частей, представляющих опасность, не допускает использование ограждений или других средств, исключающих возможность прикасания работающих к движущимся частям, то конструкция производственного оборудования должна предусматривать сигнализацию, предупреждающую о пуске оборудования, а также использование сигнальных цветов и знаков безопасности.

В Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ в непосредственной близости от движущихся частей, находящихся вне поля видимости испытателя, установлены органы управления аварийной остановкой (торможением).

Поражение электрическим током

Источником напряжения в частотно-регулируемом электроприводе являются токоведущие части электропривода.

Напряжения прикосновения и токи для лиц, выполняющих работу в условиях высоких температур (выше 25°C) и влажности (относительная влажность более 75%), должны быть уменьшены в три раза.

Основными непосредственными причинами электротравматизма, являются: 1) прикосновение к токоведущим частям электроустановки,

находящейся под напряжением; 2) прикосновение к металлическим конструкциям электроустановок, находящимся под напряжением; 3) ошибочное включение электроустановки или несогласованных действий обслуживающего персонала; 4) поражение шаговым напряжением и др.

Основными техническими средствами защиты, согласно ПУЭ, являются защитное заземление, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения, изолирующие электрозащитные средства, знаки и плакаты безопасности. Наличие таких средств защиты предусмотрено в рабочей зоне. В целях профилактики периодически проводится инструктаж работников по технике безопасности.

К коллективным средствам защиты от поражения электрическим током относят:

оградительные устройства - устройства автоматического контроля и сигнализации; изолирующие устройства и покрытия; устройства защитного заземления и зануления; устройства автоматического отключения; устройства выравнивания потенциалов и понижения напряжения; устройства дистанционного управления; предохранительные устройства; молниеотводы и разрядники; знаки безопасности.

К коллективным средствам защиты от повышенного уровня статического электричества относятся:

- Заземляющие устройства;
- Нейтрализаторы;
- Увлажняющие устройства;
- Экранирующие устройства.

Средства индивидуальной защиты:

- Специальная одежда антиэлектростатическая;
- специальная обувь антиэлектростатическую;
- предохранительные приспособления антиэлектростатические;
- средства защиты рук антиэлектростатические.

В Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ имеются все необходимые средства защиты.

6.3 Экологическая безопасность

В процессе «жизненного цикла» рассматриваемого оборудования могут возникать следующие отходы:

- вышедшие из строя детали и узлы;
- изоляция;
- ликвидация изделия (при полном выходе из строя).

Девять этапов технологического цикла отходов:

- 1 - появление;
- 2 - сбор и/или накопление;
- 3 - идентификация;
- 4 - сортировка (с обезвреживанием);
- 5 - паспортизация;
- 6 - упаковка (и маркировка);
- 7 - транспортирование и складирование;
- 8 - хранение;
- 9 - удаление.

Первым подэтапом 9-го этапа является утилизация объектов и отходов. На подэтапе утилизации может быть произведена переработка бракованных или вышедших из употребления изделий, их составных частей и отходов от них путем разборки (разукрупнения), переплавки, использования других технологий с обеспечением рециркуляции (восстановления) органической и неорганической составляющих, металлов и металлосоединений для повторного применения в народном хозяйстве, а также с ликвидацией образующихся вновь отходов.

Вторым подэтапом 9-го этапа технологического цикла ликвидации опасных и других отходов является их безопасное размещение на соответствующих полигонах или уничтожение, если захоронение отходов

угрожает здоровью и жизни людей, и окружающей среде. В современных условиях вопросы переработки и/или захоронения (уничтожения) чаще решают на основе экономически целесообразных механизмов при обеспечении безопасного обращения с отходами. При санкционированном захоронении опасных и других отходов следует учитывать, что с появлением новых научно-технических и технологических решений отходы смогут быть утилизированы, поэтому такие захоронения следует рассматривать как техногенные месторождения полезных ископаемых («вторая геология»).

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-94 ЧС - это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям".

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

1. Пожары, взрывы;
2. Внезапное обрушение зданий, сооружений;
3. Геофизические опасные явления (землетрясения);
4. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления;

Так как объект исследований представляет из себя математическую модель, работающий в программном приложении, то наиболее вероятной ЧС в данном случае можно назвать пожар в аудитории с серверным оборудованием. В серверной комнате применяется дорогостоящее оборудование, не горючие и не выделяющие дым кабели. Таким образом

возникновение пожаров происходит из-за человеческого фактора, в частности, это несоблюдение правил пожарной безопасности. К примеру, замыкание электропроводки - в большинстве случаев тоже человеческий фактор. Соблюдение современных норм пожарной безопасности позволяет исключить возникновение пожара в серверной комнате.

Согласно СП 5.13130.2009 предел огнестойкости серверной должен быть следующим: перегородки - не менее EI 45, стены и перекрытия - не менее REI 45. Т.е. в условиях пожара помещение должно оставаться герметичным в течение 45 минут, препятствуя дальнейшему распространению огня.

Помещение серверной должно быть отдельным помещением, функционально не совмещенным с другими помещениями. К примеру, не допускается в помещении серверной организовывать мини-склад оборудования или канцелярских товаров.

При разработке проекта серверной необходимо учесть, что автоматическая установка пожаротушения (АУПТ) должна быть обеспечена электропитанием по первой категории (п. 15.1 СП 5.13130.2009).

Согласно СП 5.13130.2009 в системах воздуховодов общеобменной вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования воздуха защищаемых помещений следует предусматривать автоматически закрывающиеся при обнаружении пожара воздушные затворы (заслонки или противопожарные клапаны).

6.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

При проведении исследований наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ. Пожарная безопасность должна обеспечиваться

системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные источники возникновения пожара:

1. Неработоспособное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования.

2. Электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов.

3. Перегрузка в электроэнергетической системе (ЭЭС) и короткое замыкание в электроустановке.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий:

- обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);

- пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;

- обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего противопожарного водопровода.

Согласно ФЗ-123, НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении

пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей.

Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ оснащена первичными средствами пожаротушения: огнетушителями ОУ-3 1шт., ОП-3, 1шт. (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники, класс пожаров А, Е.).

Таблица 28 – Типы используемых огнетушителей при пожаре в электроустановках

| Напряжение, кВ | Тип огнетушителя (марка) |
|----------------|--------------------------|
| До 1,0 | порошковый (серии ОП) |
| До 10,0 | углекислотный (серии ОУ) |

Согласно НПБ 105-03 помещение, предназначенное для проектирования и использования результатов проекта, относится к типу П-2а.

Таблица 29 - Категории помещений по пожарной опасности

| Категория помещения | Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении |
|---------------------|---|
| П-2а | Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр. |

В корпусе №8 ТПУ имеется пожарная автоматика, сигнализация. В случае возникновения загорания необходимо обесточить электрооборудование, отключить систему вентиляции, принять меры тушения (на начальной стадии) и обеспечить срочную эвакуацию студентов и сотрудников в соответствии с планом эвакуации.

Заключение

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка регулируемого электропривода лифта, который будет соответствовать техническим условиям и требованиям; качественная и количественная оценка динамических процессов, происходящих в электромеханической системе лифта.

Для достижения поставленных задач, создания современной и надежной системы управления технологическим процессом, первым шагом в работе было подробное изучение протекания технологического процесса и особенностей, требований и условий работы лифта.

Для повышения надежности работы лифта разработана трехуровневая структура комплекса технических средств. Произведен расчет и выбор основного оборудования системы.

Следующим этапом работы было создание динамической модели АД во вращающейся системе координат для расчета переходных процессов. Проанализировав результаты моделирования можно сказать о том, что модель ведет себя адекватно. Номинальная скорость, ток и момент соответствует расчетным величинам скорости и момента.

Были собраны модели для оптимизации и настройке контуров регулирования электропривода.

Также была создана динамическая модель лифта. Скорость подъема кабины соответствует техническому заданию.

На основании модели двигателя во вращающейся системе координат и модели лифта разрабатываем имитационную модель нелинейного электропривода лифта с учетом нелинейностей и ограничений на выходе регуляторов. На данной модели проверена работоспособность разработанного электропривода.

Проанализировав работу привода лифта, можно сказать о том, что при отработки полученных заданий отсутствуют броски тока и момента, скорость

выходит на номинальную без существенной ошибки, т.е. исследуемый электропривод полностью соответствует предъявляемым требованиям.

Проанализировав выше сказанное можно сказать о том, что поставленные цели и задачи были достигнуты. Результаты, полученные при выполнении данной работы могут с успехом применяться при разработки новых и модернизации существующих лифтов.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен технический проект и решены следующие задачи:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Список использованных источников

1. Автоматизация технологических процессов. Компания ЭЛЕСИ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.elesy.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
2. ГОСТ 22011-95. Лифты пассажирские и грузовые. Технические условия. - Введ. 1997 - 01 - 01. - Минск: Изд-во стандартов, 1995. (Межгосударственные стандарты).
3. ГОСТ 22011-95 Лифты пассажирские и грузовые. Технические условия
4. Исследование переходных процессов в электромеханической системе пассажирского лифта с использованием программной системы Matlab. С.В. Бондарев, Ю.П. Горбатенко, О.В. Закора.
5. Лифты. Учебник для вузов /под общей ред. Д.П.Волкова - М.: изд-во АСВ, 1999. - 480 стр. с илл.
6. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистров всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ На/Сост. Ю.В.Бородин, В.Н.Извеков, Е.В.Ларионова, А.М.Плахов. - То Томск: Изд - во Томского политехнического универ-та, 2014. – 20 с.
7. Нагрузка кранов. Григорьев Н.И. –М. –Л. : Машиностроение, 1964.
8. Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов: ПБ 10-558-03: утв. Ростехнадзором России 16.05.03 : обязат. для всех м-в, ведомств, предприятий и орг., независимо от их орг.-правовой формы и формы собственности, а также для индивидуал, предпринимателей. - СПб. :ДЕАН, 2005. - 172 с.: ил.
9. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 354 с.

10. Производственно-технический центр «Привод» [Электронный ресурс].
- Режим доступа: <http://www.reductor58.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
11. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 476с.
12. Удут Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 6. — Механическая система электропривода постоянного тока : Учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. - Томск: Изд-во Том. политех, ун-та, 2004. - 144 с.: ил. - Библиогр.: с. 140.
13. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213с.
14. ЭЛПРО-М [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.elpromrit.com/>, свободный. – Загл. с экрана.
15. ICCSR26000 : 2011 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ. ТРЕБОВАНИЯ
16. ИЕК [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.iek.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
17. LEM [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.lem.com/ru/ru>, свободный. – Загл. с экрана.
18. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
- 19 Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
20. ФИНАСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Издательство Томского политехнического университета 2014, 36 стр.

21. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.

22. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.

Conclusion

The purpose of this final qualification work is development of the adjustable electric drive of the elevator which will conform to specifications and requirements; a quality and quantitative standard of the dynamic processes happening in electromechanical system of the elevator.

For achievement of objectives, creation of a modern and reliable control system of technological process, the first step in work there was a detailed studying of course of technological process and features, requirements and operating conditions of the elevator.

The three-level structure of a complex of technical means is developed for increase of reliability of operation of the elevator. Calculation and the choice of the capital equipment of system is made.

Creation of dynamic model HELL in the rotating system of coordinates for calculation of transition processes was the following stage of work. Having analysed results of modeling it is possible to tell that the model behaves adequately. Rated speed, current and the moment corresponds to settlement sizes of speed and the moment.

Models for optimization and control of contours of regulation of the electric drive have been collected.

Also the dynamic model of the elevator has been created. Speed of raising of a cabin corresponds to the specification.

On the basis of engine model in the rotating system of coordinates and model of the elevator we develop imitating model of the nonlinear electric drive of the elevator taking into account not linearities and restrictions at the exit of regulators.

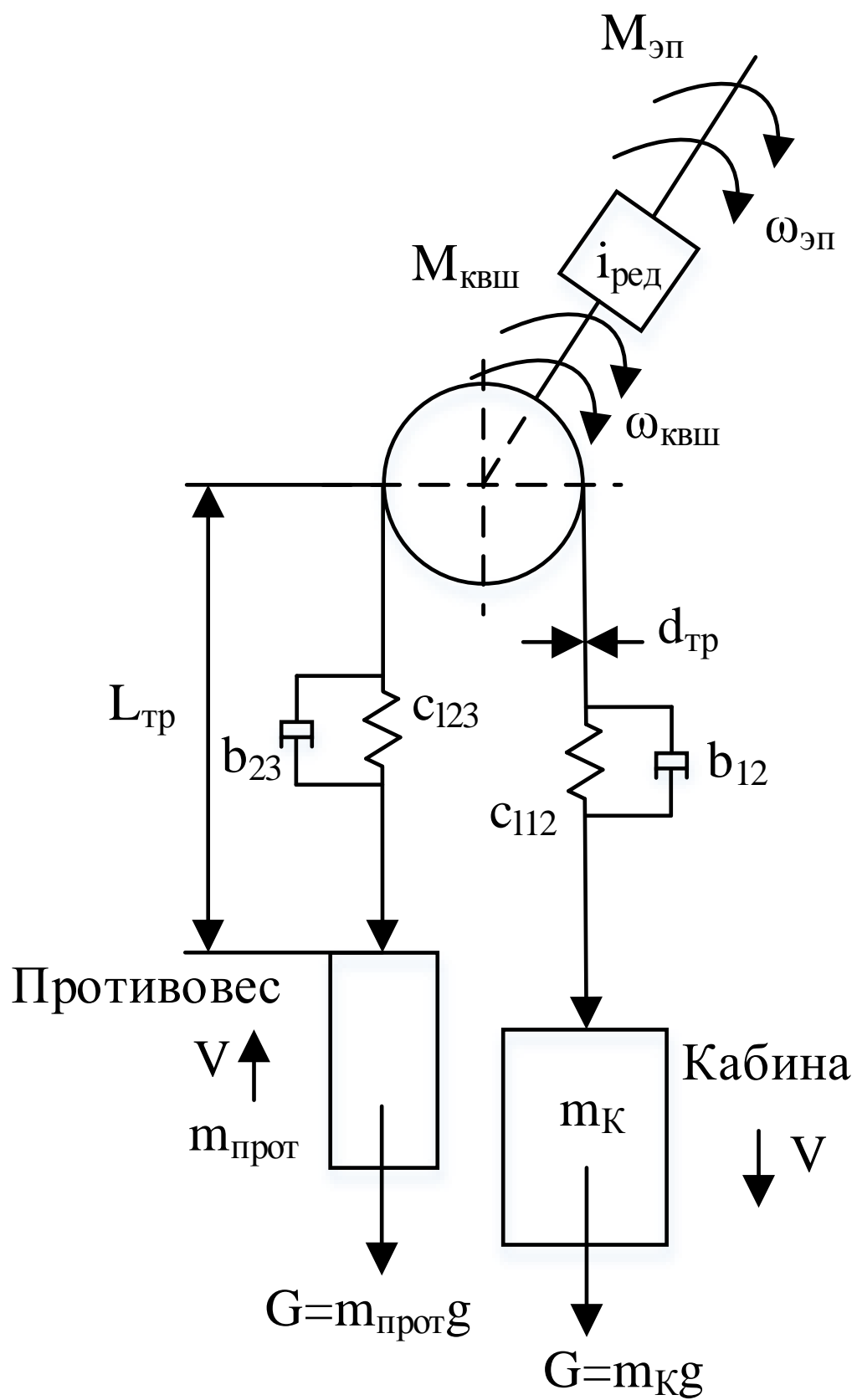
On this model operability of the developed electric drive is checked.

Having analysed operation of the drive of the elevator, it is possible to tell that at working off of the received tasks there are no throws of current and the moment, speed leaves on nominal without essential mistake, i.e. the studied electric drive completely conforms to qualifying standards.

Having analysed above told it is possible to tell that goals and tasks have been reached. The results received when performing this work can be applied with success when developing new and modernizations of the existing elevators. Also in this work the main questions of social responsibility of the project have been considered and the estimate of capital expenditure is calculated.

Приложение А

Графическая часть.



Упрощенная кинематическая схема лифта

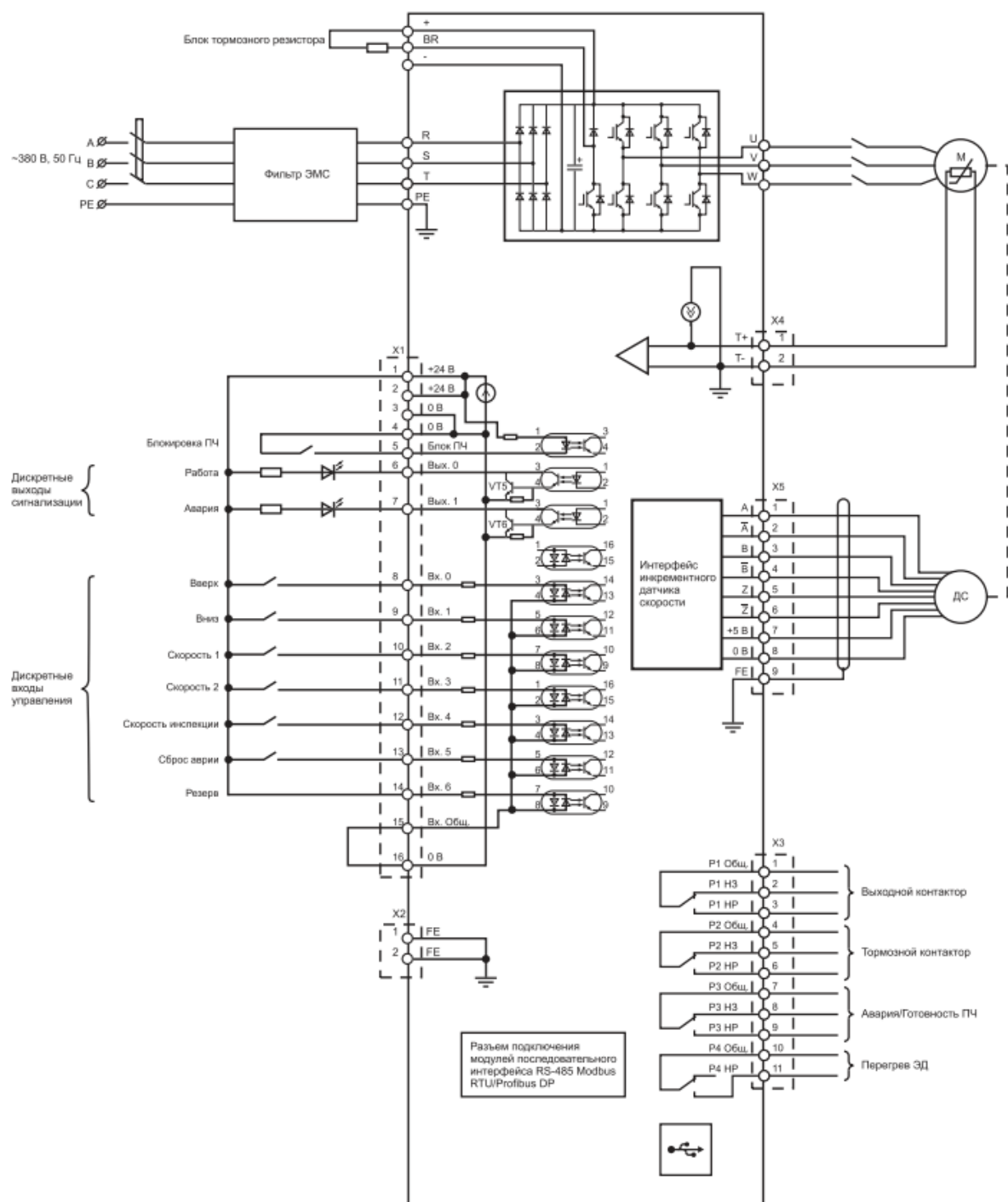
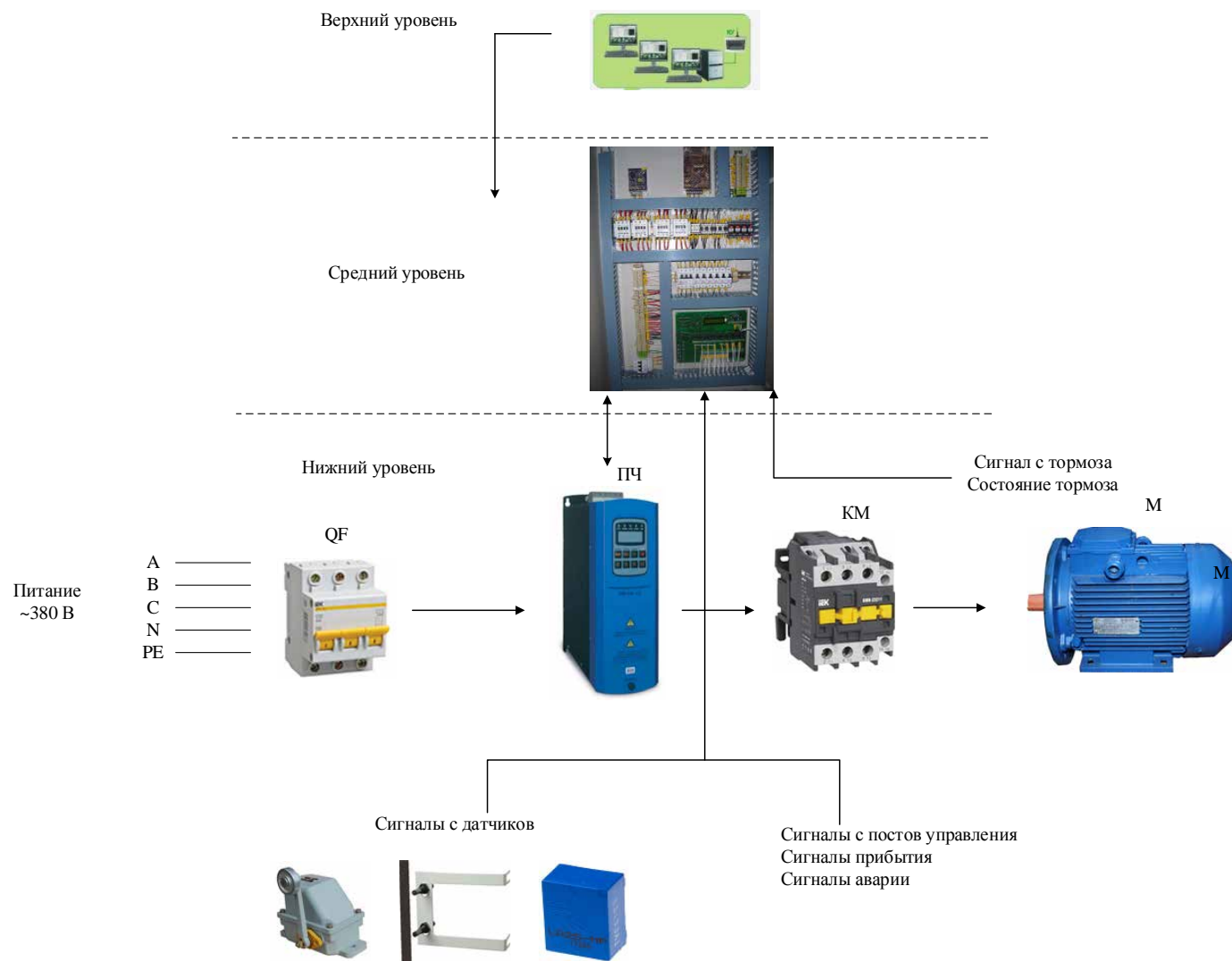
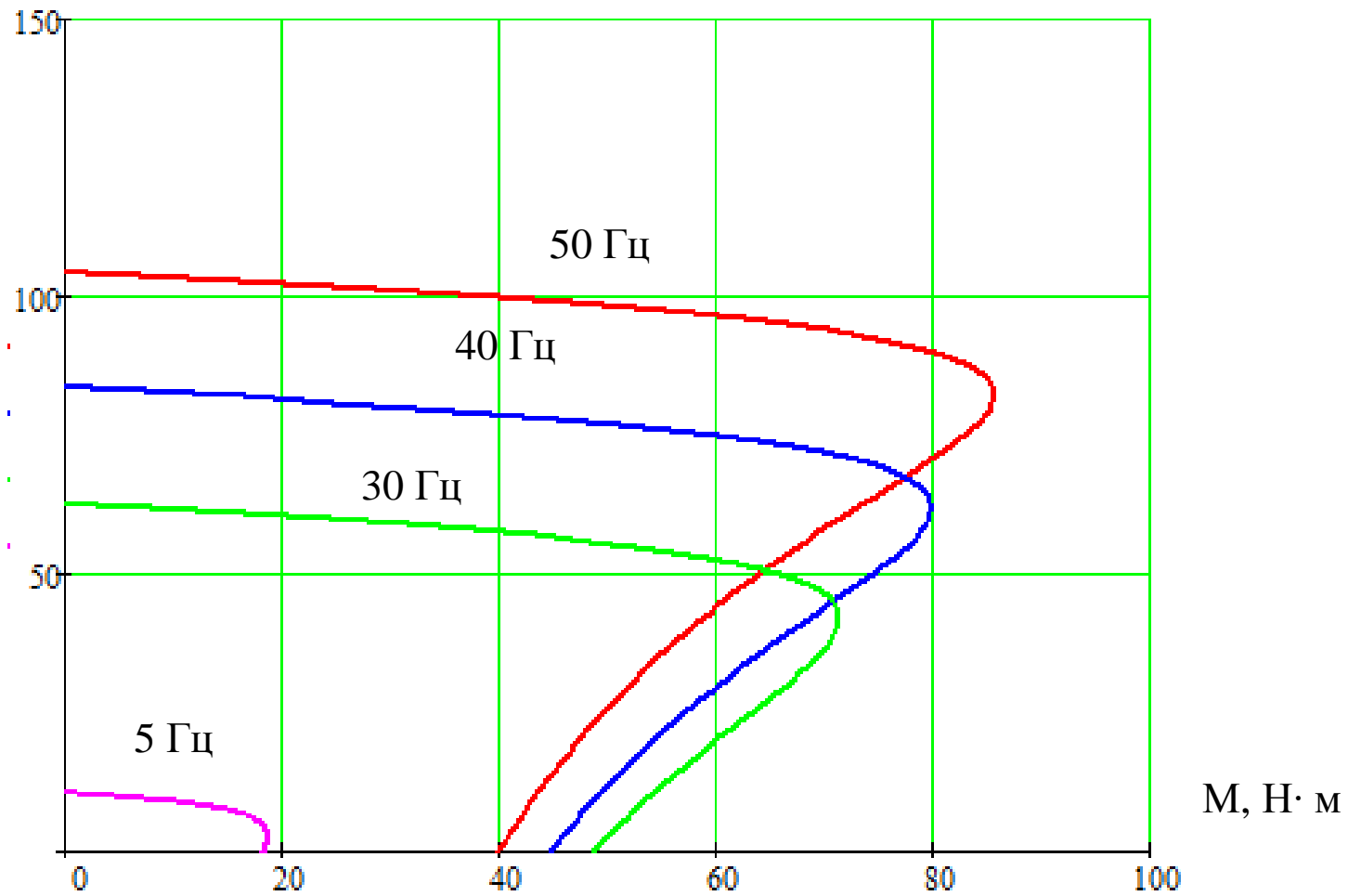


Схема подключений ПЧ

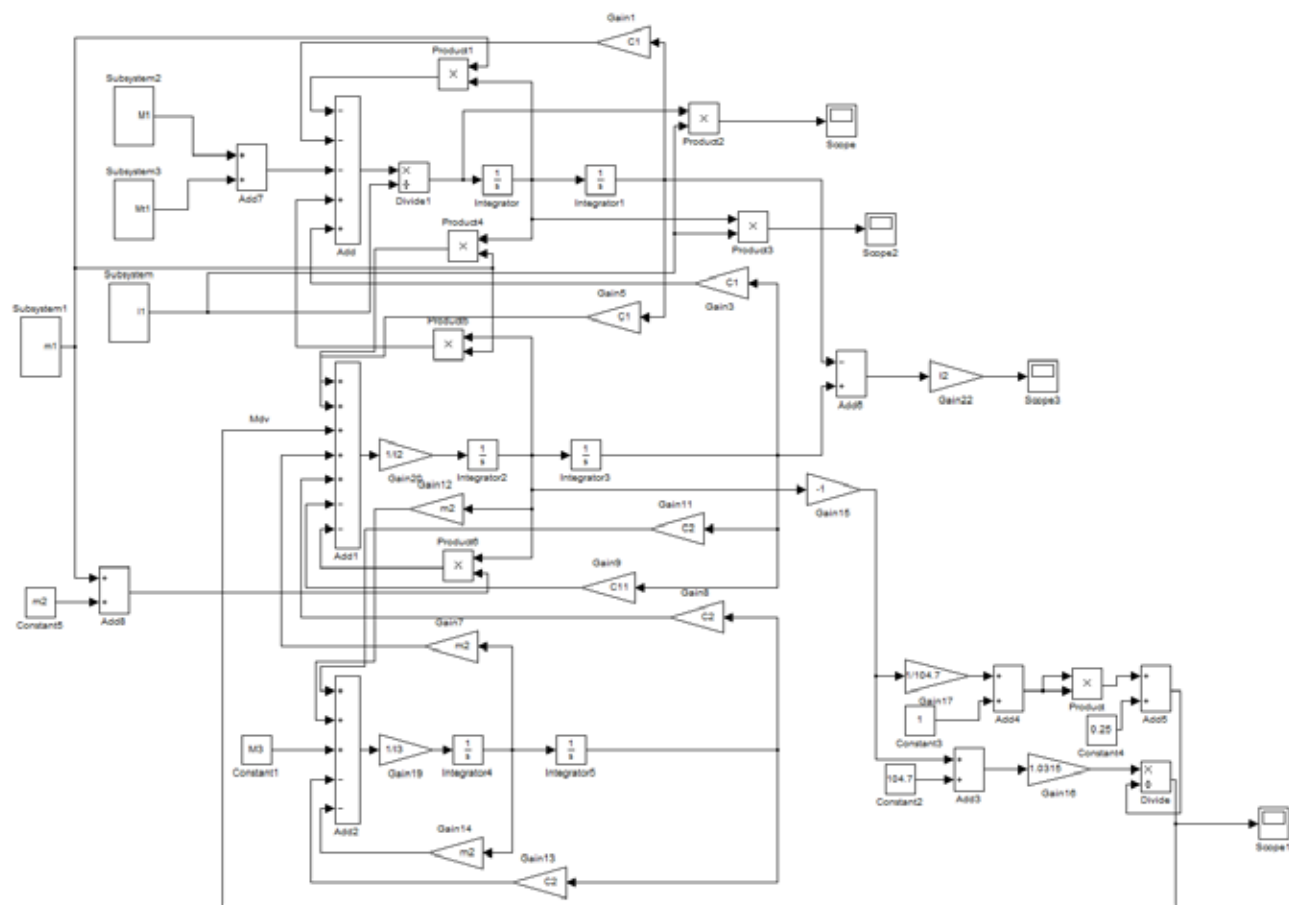


Блок схема соединения аппаратных средств

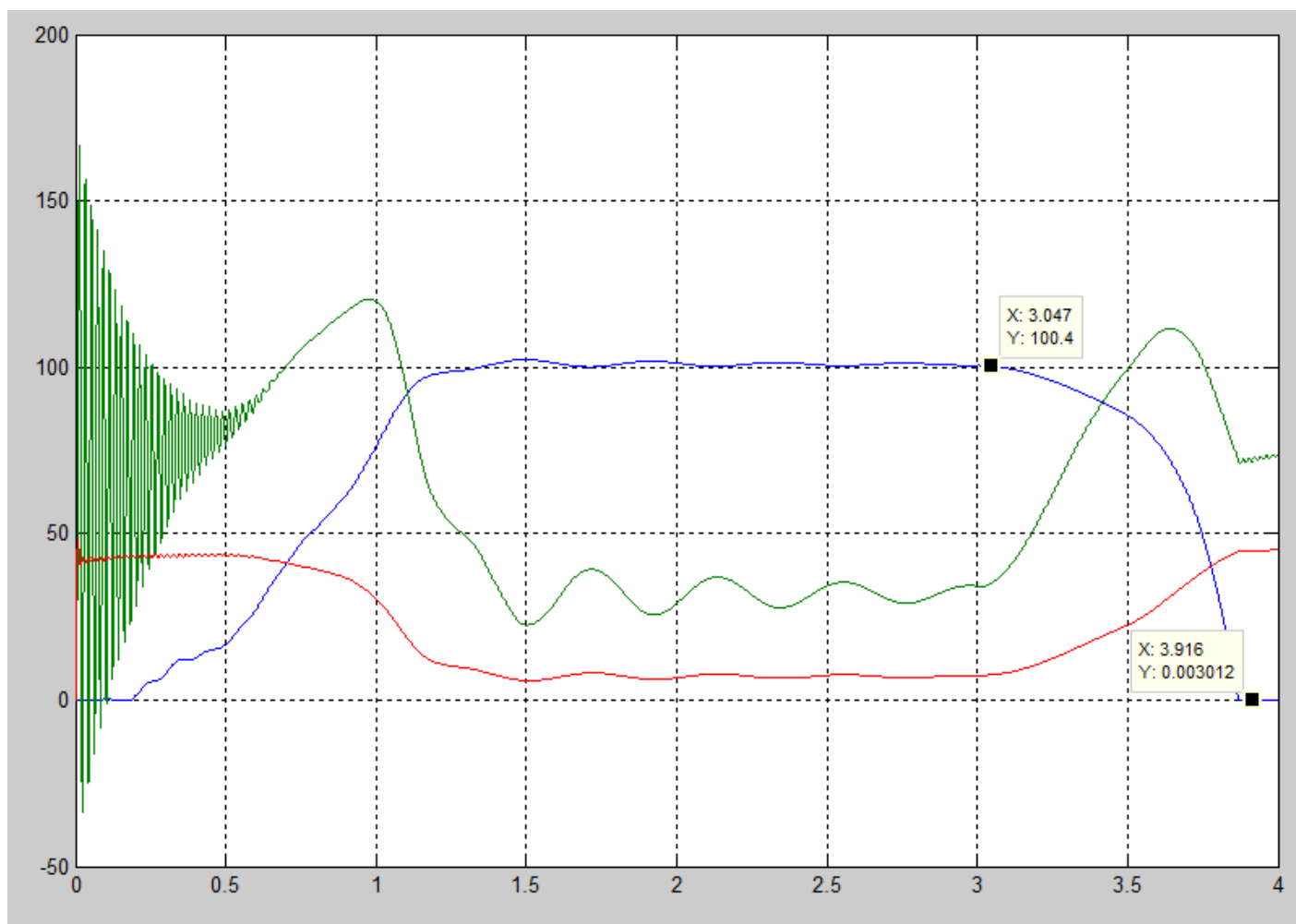
ω , рад/с



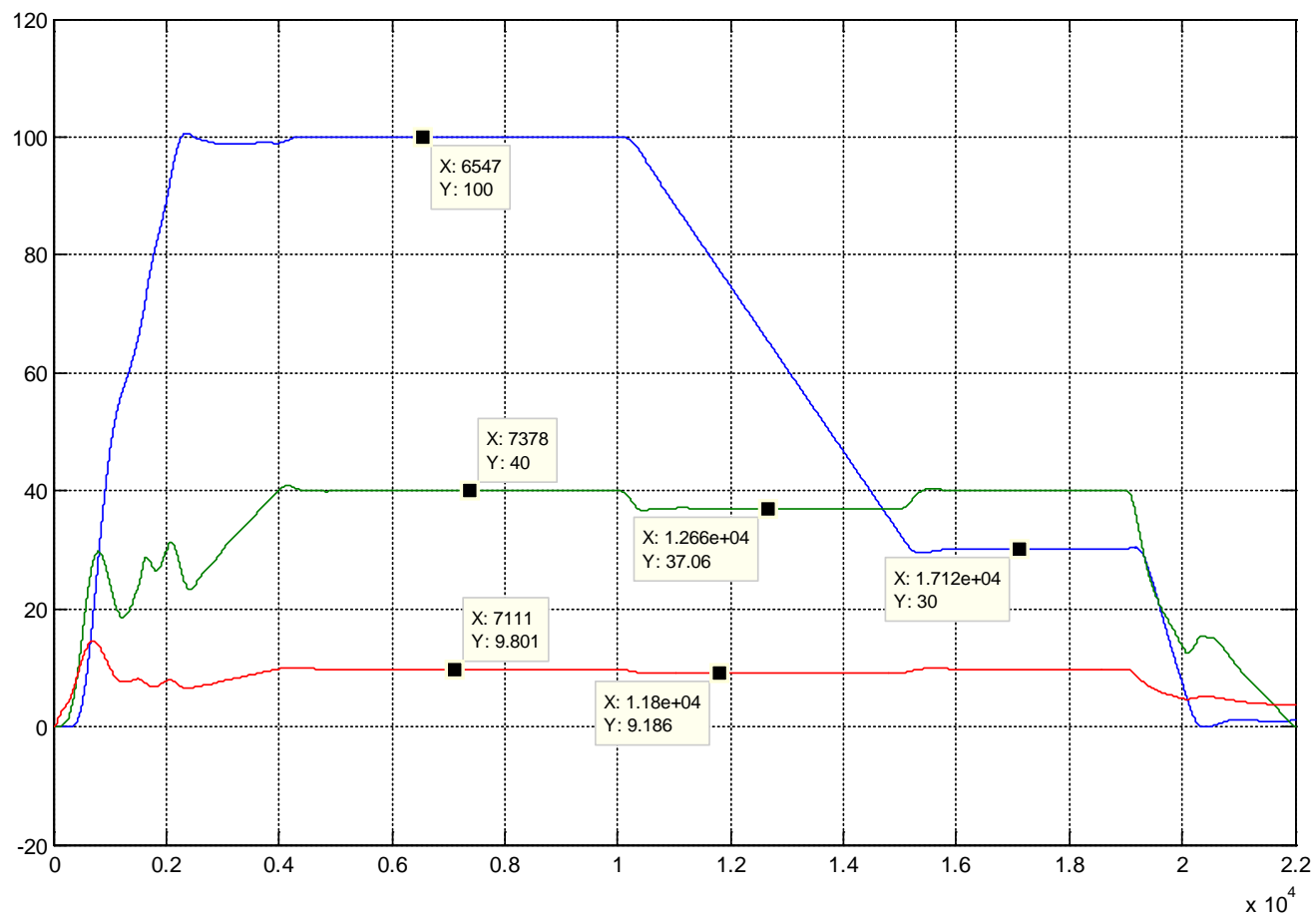
Механические характеристики $M=f(\omega)$ при частотном регулировании скорости с законом регулирования $U_{1j}/f_{1j}=\text{const}$



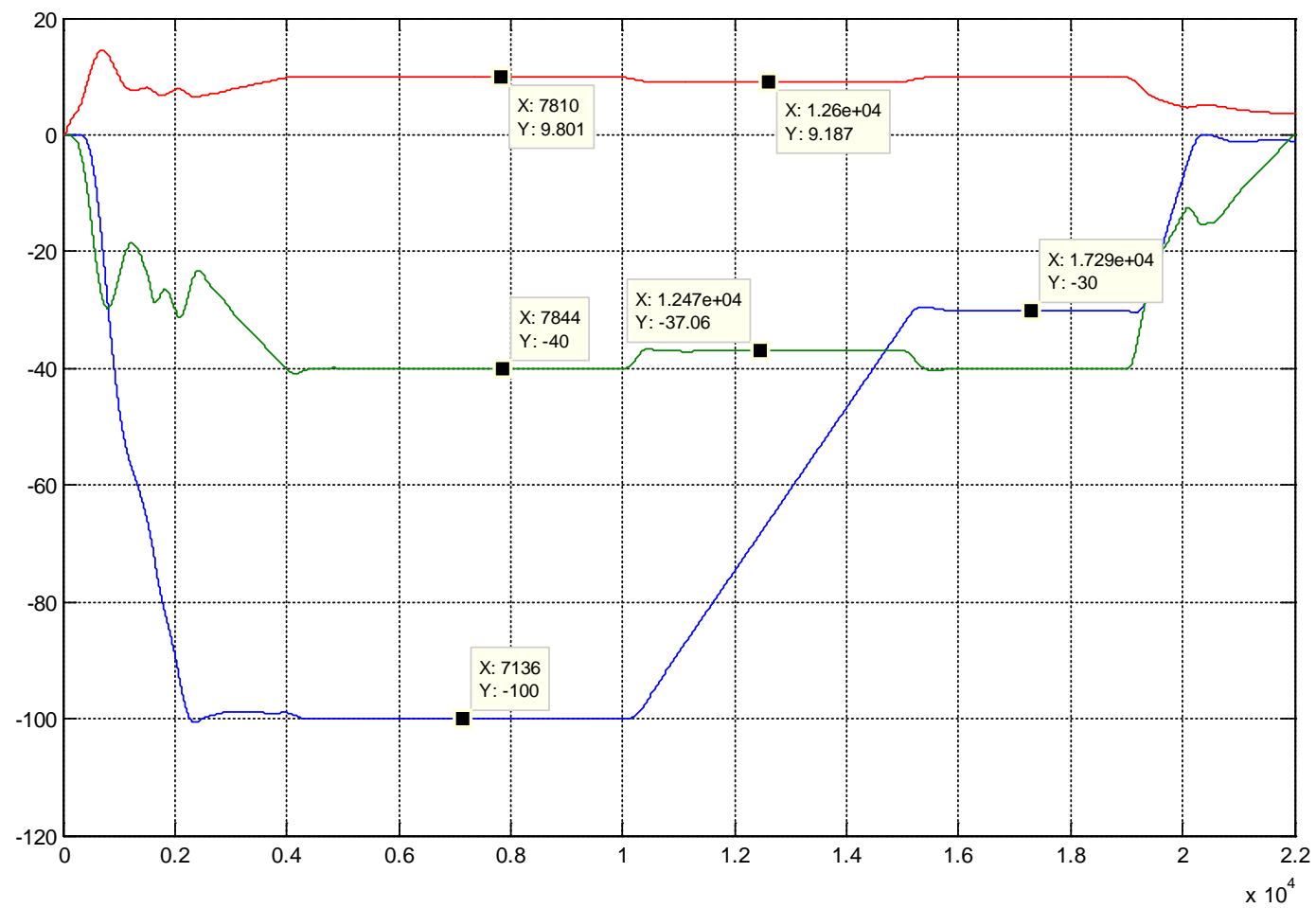
Схема, моделирующая пуск лифта собранная в среде Matlab Simulink



Графики переходного процесса скорости, тока и момента, при моделировании процесса подъема кабины



Графики переходного процесса скорости, тока и момента, при моделировании процесса подъема кабины



Графики переходного процесса скорости, тока и момента, при моделировании процесса опускания кабины

*Карта сегментирования рынка услуг по разработке
и внедрению в производстве электропривода:*

| | | Изменения в конструкции | | | |
|-----------------------------------|----------|--|--|--|---|
| | | Настройка существующего электропривода | | Замена электропривода, их настройка | Замена устройства, настройка электропривода |
| Длительность эксплуатации, лет | 1-5 | Ремонтная служба предприятия | | | |
| | 5-10 | Ремонтная служба предприятия | | Сервисная компания по ремонту производственного оборудования | |
| | Более 10 | Ремонтная служба предприятия | | Сервисная компания по ремонту производственного оборудования | Фирма - производитель оборудования |